



Universidad  
Carlos III de Madrid

# PROYECTO FIN DE CARRERA:

Ingeniería Técnica Industrial: Electrónica

Departamento de Tecnología Electrónica

## ANÁLISIS DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A RED DE 1,5 MW

**ALUMNO:** Luis Manuel Nieto Río

**TUTOR:** Vicente Salas Merino

*Leganés, octubre de 2015*



*A mis hijos, por ser.*

*A mi mujer, por darme los dos mejores regalos.*

*A mis padres, por no desfallecer nunca en hacer de mí lo que soy.*

*A mis hermanos, por estar siempre ahí*

*Al Vecino, por ayudarme a hacer de esto una realidad.*



## ÍNDICE

|   |           |
|---|-----------|
| <b>OBJETIVOS.....</b>   | <b>6</b>  |
| <b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>   | <b>7</b>  |
| <b>1.1. ENERGÍAS RENOVABLES.....</b>  | <b>8</b>  |
| 1.1.1. SITUACIÓN DE LAS ENERGERGÍAS RENOVABLES EN EL MUNDO.....                                       | 10        |
| 1.1.2. SITUACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN ESPAÑA.....  | 12        |
| <b>1.2. ENERGÍA SOLAR.....</b>  | <b>14</b> |
| 1.2.1. ENERGÍA SOLAR PASIVA.....  | 16        |
| 1.2.1. ENERGÍA SOLAR ACTIVA.....  | 16        |
| <b>2. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....</b>   | <b>23</b> |
| <b>2.1. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....</b>  | <b>24</b> |
| 2.1.1. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AISLADOS.....   | 25        |
| 2.1.2. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A RED.....   | 27        |
| <b>2.2. ELEMENTOS DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO.....</b>   | <b>29</b> |
| 2.2.1. GENERADOR FOTOVOLTAICO.....  | 29        |
| 2.2.2. SOPORTE.....   | 38        |
| 2.2.3. INVERSOR.....  | 41        |
| 2.2.4. CENTRO DE TRANSFORMACIÓN.....  | 51        |
| <b>2.3. NORMATIVA.....</b>  | <b>54</b> |
| <b>3. DISEÑO DE UN SFCR DE 1,5 MW.....</b>  | <b>56</b> |
| <b>3.1. ESPECIFICACIONES DEL SFCR.....</b>  | <b>56</b> |
| 3.1.1. UBICACIÓN.....   | 57        |
| 3.1.2. MÓDULO FOTOVOLTAICO.....   | 61        |
| 3.1.3. CONVERSIÓN DE CORRIENTE.....   | 62        |
| <b>3.2. HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS DE DIMENSIONADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS<br/>FOTOVOLTAICOS.....</b> | <b>67</b> |
| 3.2.1. ELECCIÓN DEL SOFTWARE: PVSYST.....   | 70        |
| <b>3.3. DISEÑO DE UN SFCR CON PVSYST.....</b>   | <b>71</b> |
| 3.3.1. DISEÑO DE UN SFCR CON INVERSOR CENTRAL.....  | 76        |
| 3.3.2. DISEÑO DE UN SFCR CON INVERSORES DE RAMA.....  | 77        |
| <b>4. ANÁLISIS DE UN SFCR DE 1,5 MW.....</b>  | <b>79</b> |



|   |                   |
|---|-------------------|
| <b>4.1. BALANCE ENERGÉTICO DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO.....</b>              | <b>79</b>         |
| <b>4.2. BALANCE ENERGÉTICO DE LA ETAPA DE CONVERSIÓN DE CORRIENTE .....</b> | <b>82</b>         |
| 4.2.1. BALANCE ENERGÉTICO DE LA CONFIGURACIÓN DE INVERSOR CENTRAL .....     | 83                |
| 4.2.2. BALANCE ENERGÉTICO DE LA CONFIGURACIÓN DE INVERSOR DE RAMA.....      | 85                |
| <b>4.3. BALANCE ECONÓMICO DE LA ETAPA DE CONVERSIÓN DE CORRIENTE .....</b>  | <b>88</b>         |
| 4.3.1. BALANCE ECONÓMICO DE LA CONFIGURACIÓN DE INVERSOR CENTRAL .....      | 90                |
| 4.3.2. BALANCE ECONÓMICO DE LA CONFIGURACIÓN DE INVERSOR DE RAMA .....      | 91                |
| <b>4.4. COMPARATIVA ENERGÉTICA Y ECONÓMICA ENTRE CONFIGURACIONES .....</b>  | <b>92</b>         |
| 4.4.1. PÉRDIDAS DE SOBRECARGA .....   | 92                |
| 4.4.2. COSTE DE LA ETAPA DE CONVERSIÓN DE CORRIENTE .....                   | 93                |
| 4.4.3. ENERGÍA PRODUCIDA.....   | 94                |
| 4.4.4. COSTE DE LA ENERGÍA PRODUCIDA.....                                   | 94                |
| 4.4.5. PÉRDIDAS DEL INVERSOR .....  | 94                |
| 4.4.6 EFICIENCIA DEL SFCR.....  | 95                |
| <b>4.5. CONCLUSIONES .....</b>  | <b>95</b>         |
| <b><u>BIBLIOGRAFÍA .....</u></b>  | <b><u>99</u></b>  |
| <b><u>ANEXO 1: .....</u></b>  | <b><u>100</u></b> |
| <b><u>ANEXO 2: .....</u></b>  | <b><u>102</u></b> |
| <b><u>ANEXO 3: .....</u></b>  | <b><u>106</u></b> |
| <b><u>ANEXO 4: .....</u></b>  | <b><u>110</u></b> |
| <b><u>ANEXO 5: .....</u></b>  | <b><u>114</u></b> |
| <b><u>ANEXO 6: .....</u></b>  | <b><u>116</u></b> |
| <b><u>ANEXO 7: .....</u></b>  | <b><u>118</u></b> |

### OBJETIVOS

El objetivo principal del proyecto es un estudio comparativo entre las dos principales categorías de inversores:

- ☒ Inversor central: un único inversor para todo el generador fotovoltaico o para un conjunto de ramas de éste.
- ☒ Inversor de rama o *string inverter*: un inversor por cada rama del generador fotovoltaico.

Con la ayuda del programa informático PVSyst simularemos el funcionamiento de un sistema fotovoltaico conectado a red (SFCR), con igual potencia nominal e idéntica potencia de pico, para una ubicación dentro de territorio nacional, y a partir de los resultados proporcionados por PVSyst se analizarán los pros y contras de la elección de cada una de las categorías de inversores, y como objetivo final tomar una decisión comercial.

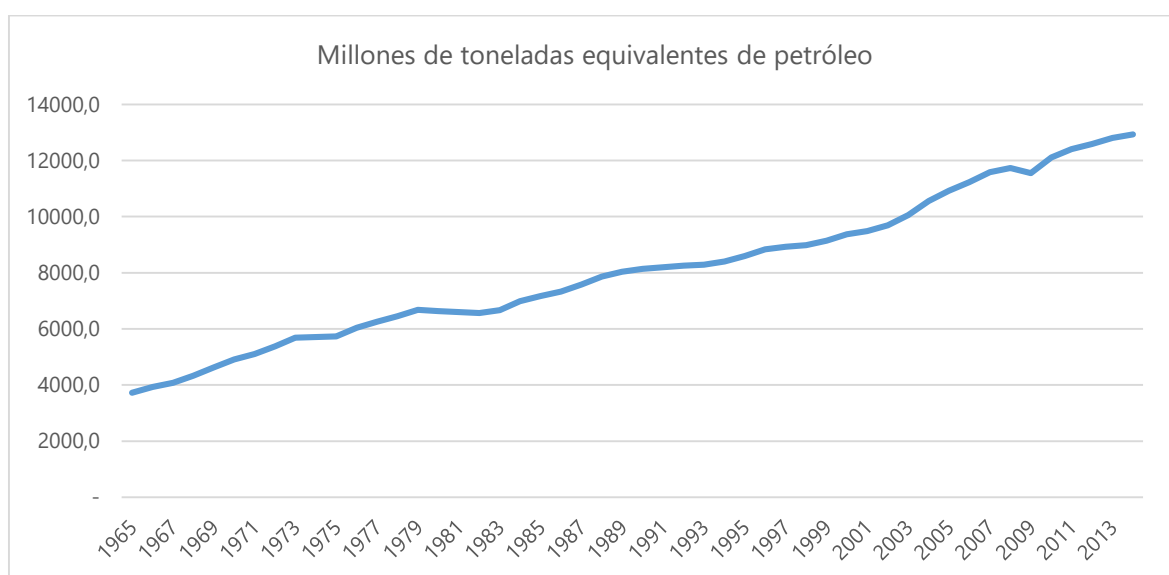
Previamente a introducirnos en objetivo principal del proyecto se alcanzaran otros dos objetivos secundarios, pero sin los cuales el proyecto no estaría completo.

El primer objetivo proyecto es dar al lector una visión general de las distintas energías renovables y en particular la energía solar fotovoltaica. En este punto se expone una breve historia de la energía solar fotovoltaica así como la evolución de las aplicaciones de la misma. En la misma línea se muestra la tendencia de implantación de la energía solar en el mundo, Europa y España.

El segundo objetivo del proyecto es profundizar en los sistemas fotovoltaicos, mostrando los diferentes tipos que existen así como indicar los diferentes elementos que forman un SFCR; módulos fotovoltaicos, inversor de conexión a red y centro de transformación (CT). Nos centraremos en los SFCR pues es el tipo de instalación de la cual vamos a realizar en análisis comparativo de inversores. En este punto también se explicará la función y características de los elementos necesarios para un SFCR.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el consumo energético mundial crece de forma considerable año tras año, desde los años setenta el consumo de energía mundial se ha más que duplicado, llegando a un consumo de energía primaria al equivalente de 12.928,34 millones de toneladas de petróleo. Un millón de toneladas equivalentes de petróleo produce unos 4,4 TWh de electricidad en una central eléctrica moderna así mismo una tonelada de petróleo equivale a diez millones de kilocalorías.



**Gráfico 1.1: Consumo de energía mundial (Fuente: <http://www.bp.com/statisticalreview>).**

El desarrollo económico actual está basado en fuentes de combustibles fósiles, pero esta fuente de energía es limitada, como se aprecia en la tabla siguiente. Con los datos conocidos en el 2014, las reservas de combustibles fósiles conocidos en la actualidad tendrían un tiempo estimado de vida de poco más de 100 años, en el supuesto de que la demanda energética no se viera incrementada, pero como hemos visto en el gráfico anterior, tiene una tendencia a incrementarse.

|   | Total de reservas probadas al cierre del 2014 | R/P ratio |
|---|---|-----------|
| Petróleo (mil millones de toneladas)      | 239,8   | 52,5      |
| Gas natural (trillones de metros cúbicos) | 187,1   | 54,1      |
| Carbón (millones de toneladas)            | 891.531,0                                     | 110,0     |

**Tabla 1.1: Reservas mundiales de combustibles fósiles (Fuente: <http://www.bp.com/statisticalreview>).**

Reservas/producción (R/P) - Si las reservas remanentes al final de cualquier año se dividen por la producción en ese año, el resultado es la cantidad de tiempo restante que las reservas durarían si la producción se mantuviera en esa tasa.

Las energías basadas en fuentes de combustibles fósiles parte de ser limitadas, provocan una serie de impactos medioambientales y sociales negativos, lo que acarrea que no sea una fuente de energía sostenible. Entre los problemas medioambientales que genera cabe destacar el "efecto invernadero", la "lluvia ácida" y la deforestación, lo que nos obliga a plantear un modelo económico basado en las energías renovables.

Además de las energías primarias (petróleo, carbón y gas natural), que son fuentes susceptibles de agotamiento y que además deterioran el medio ambiente, existen otro tipo de energías más seguras y menos contaminantes.

### 1.1. ENERGÍAS RENOVABLES

Se consideran energías renovables aquellas energías que debido a su diversidad y abundancia, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales y por eso su uso no reduce los recursos existentes de las mismas, es decir, se consideran inagotables. En un sentido más estricto se las suele considerar energías verdes o respetuosas con el medio ambiente.

La utilización de las energías renovables es que una vuelta a los orígenes de la energía en la humanidad, pues desde tiempos remotos se usaba la energía solar, eólica y la hidráulica, pues los molinos de viento y agua o la navegación a vela son claros ejemplo del uso de energías renovables.

Las energías renovables tienen como principal ventaja que son energías limpias, por ello también se las conoce como energías "verdes". Este tipo de energías se caracterizan por no generar gases de efecto invernadero, ni ninguna otra emisión contaminante en la fase de generación, ya que sí que pueden aparecer en las fases de fabricación, construcción e implementación. Los recursos que utilizan las energías renovables son recursos limpios e inagotables que nos proporciona la naturaleza, y tienen un impacto prácticamente nulo y siempre reversible.

Las energías renovables no están carentes de inconvenientes, el mayor de ellos es la irregularidad e imprevisibilidad, puesto que la producción de electricidad necesita fuentes de alimentación fiables, y las energías renovables depende de factores ambientales que no lo son. Necesitan almacenamiento.

Otro problema inherente a las energías renovables es que necesitan grandes superficies para la producción de la electricidad como sería el caso de fotovoltaica o la eólica, o como en el caso de la mareomotriz y undimotriz que por la ubicación del punto de producción, siempre se necesita una mayor infraestructura.

En la década de 1970 es cuando se empezó a considerar a las energías renovables como una alternativa a las energías tradicionales (combustibles fósiles) por su disponibilidad ilimitada y por poder regenerarse en poco tiempo, ventaja sobre los combustibles fósiles



que necesitan miles de años para formarse, además las energías limpias tiene un menor impacto ambiente. Es por esto que hoy aún en día se las conoce como “energías alternativas”.

Las energías renovables pueden dividirse en dos grandes grupos: potencialmente contaminantes y no contaminantes o limpias. Entre estas últimas podíamos citar:

- Energía solar (sol): que podría ser térmica, termoeléctrica y fotovoltaica.
- Energía eólica (viento): energía obtenida de las corrientes de aire.
- Energía mareomotriz y undimotriz (mar): mareas y olas respectivamente.
- Energía hidráulica e hidroeléctrica (ríos): aunque la hidroeléctrica debido a su impacto ambiental hay clasificaciones que la consideran renovable pero no limpia.
- Energía azul (mar-ríos): energía obtenida por la diferencia en la concentración de la sal entre el agua de mar y el agua de río.
- Energía geotérmica (tierra): energía obtenida por el calor de la tierra.

Las energías renovables contaminantes de obtienen a partir de la biomasa (materia orgánica) y pueden ser utilizadas como combustible directamente de cualquier materia orgánica sólida (por ejemplo la madera) o bien convertida en biocarburante o biocombustible.

Las energías renovables contaminantes están dentro de las energías renovables pues se estima que el dióxido de carbono emitido ha sido previamente absorbido mediante la fotosíntesis al transformarse en materia orgánica, lo cual generaría un balance cero de emisiones de dióxido de carbono. Al generar la energía por medio de la combustión se emiten una serie de contaminantes; material particulado e inquemado básicamente, que son generados si al desarrollar la energía no se usan medios tecnológicamente avanzados ni se depuran los gases. Es por ello que en algunas clasificaciones se definan como “potencialmente contaminantes”.

Las energías renovables históricamente han tenido un coste superior a los combustibles fósiles tradicionales, en parte porque tenían que competir con unas energías que ya tenían amortizado la infraestructura. Los costes de las energías renovables han ido disminuyendo gradualmente y según un estudio que ha publicado la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, siglas en inglés *International Renewable ENergy Agency*) se afirma que los costes de generación de algunas energías renovables ya son iguales o inferiores a los de los combustibles fósiles tradicionales.

En estudio, titulado: “*Renewable power generation costs in 2014*” se afirma que la biomasa, la hidráulica, la geotérmica y la eólica en tierra son completamente competitivas e incluso más baratas que el carbón, el petróleo o el gas natural. En el informe se expone que esto sería así incluso sin tener en cuenta apoyos financieros y con un precio del petróleo bajo, como el actual.

En cuanto a la energía solar fotovoltaica también menciona que desde el año 2009 ha existido una bajada importante en los costes de los principales elementos que conforman las instalaciones, que se ha traducido en una bajada hasta la mitad del coste de generación eléctrica.

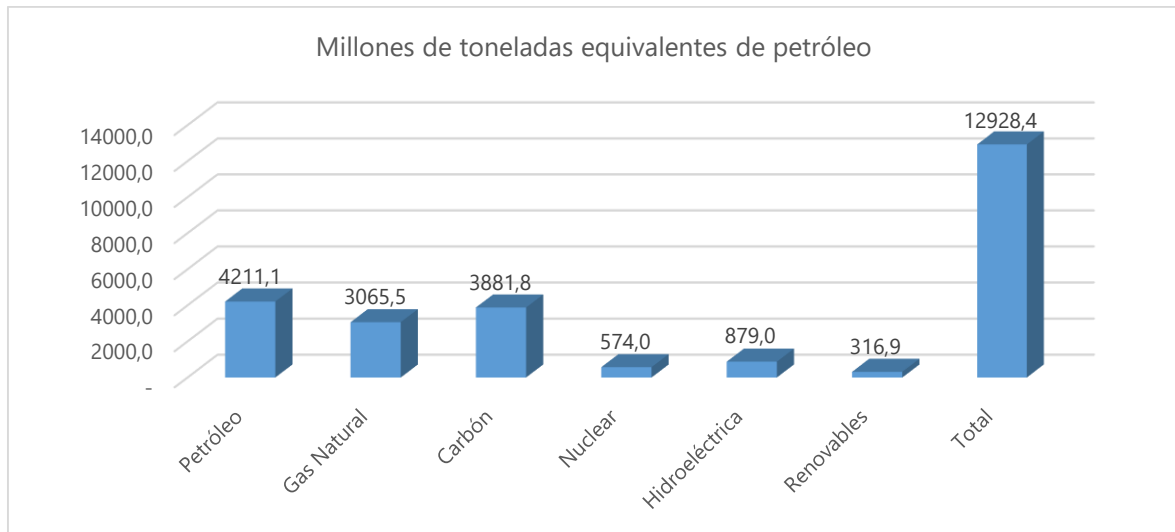
Como puntos importantes del estudio cabe destacar:

- El coste de la electricidad procedente de instalaciones eólicas terrestres es de USD 0,05 /kWh, mientras que para las instalaciones de combustibles fósiles tienen un intervalo de USD 0,045 y USD 0,14 /kWh. El coste de la electricidad en las instalaciones fotovoltaicas es de USD 0,08 /kWh, pero aún hay margen de reducción de costes pues hay continuos avances en la eficiencia de los paneles.
- Cuando el daño a la salud humana de los combustibles fósiles en la generación de energía se considera en términos económicos, junto con el coste de las emisiones de CO<sub>2</sub>, el precio de la generación de energía de combustión de combustible fósil se eleva a entre USD 0,07 y USD 0,19 /kWh.
- Los costes para la generación eléctrica en los sistemas de autoconsumo están un 70% por debajo de los costes en el 2008 y el precio de los módulos fotovoltaicos ha caído un 75% desde 2009 y continúa reduciéndose, por lo que si no hay impuestos, el autoconsumo está siendo una buena opción.
- La reducción de costes de producción eléctrica a partir de energías renovables se está produciendo a nivel mundial, incluso en zonas como Oriente Medio que las reservas de combustibles fósiles son altas.

---

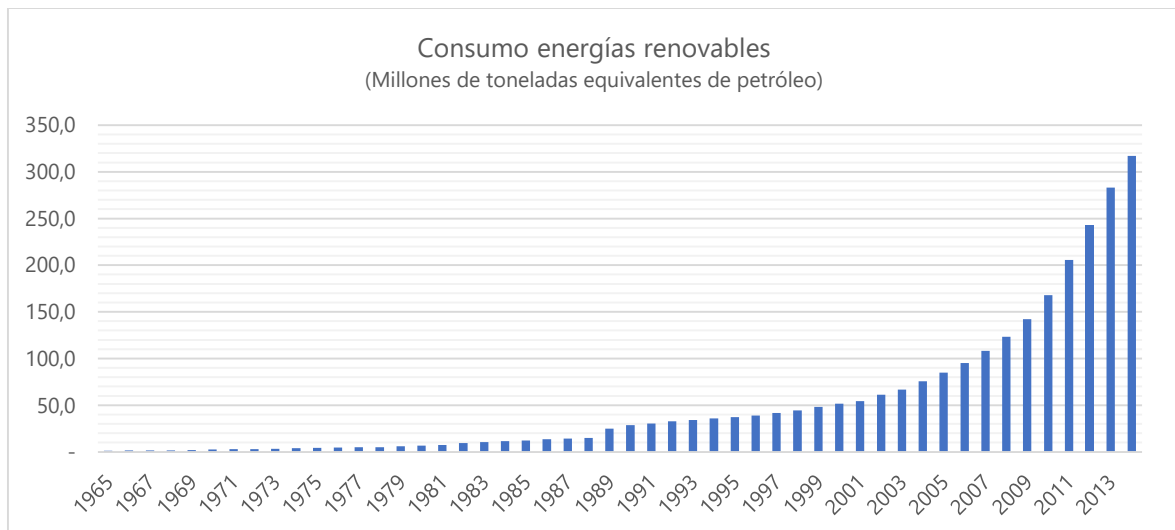
### 1.1.1. SITUACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL MUNDO

En el 2014 de la energía consumida a nivel mundial, 12.928,4 millones de toneladas equivalentes de petróleo, solo 316,9 de ellas fueron generados por energías renovables, es decir, un 2,45% de la energía consumida a nivel mundial.



**Gráfico 1.2: Consumo de energía mundial por combustible (Fuente: <http://www.bp.com/statisticalreview>).**

Aunque es un valor muy pequeño, si analizamos el consumo de energías renovables en el tiempo, vemos que está experimentando un crecimiento exponencial, habiéndose cuadruplicado su presencia en los diez último años, y en el 2014 ha crecido un 12% respecto al 2013.

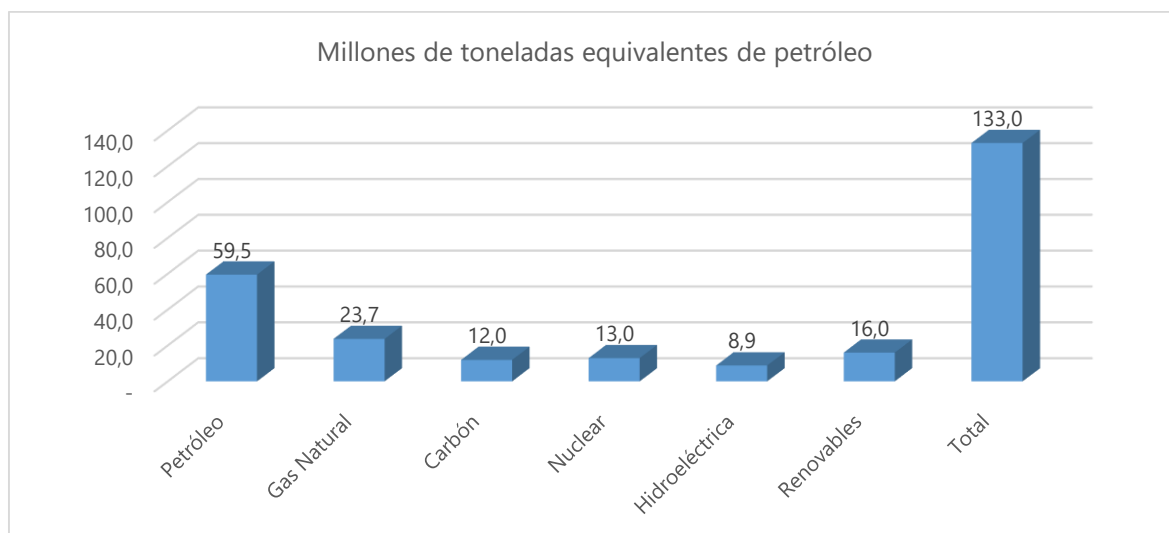


**Gráfico 1.3: Consumo de energías renovables a nivel mundial (Fuente: <http://www.bp.com/statisticalreview>).**

Que la energías renovables solo representen un 2,45% del consumo mundial no es un dato muy positivo, pero analizando el crecimiento de las energías renovables en los las últimas décadas arroja unos datos esperanzadores.

### 1.1.2. SITUACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN ESPAÑA

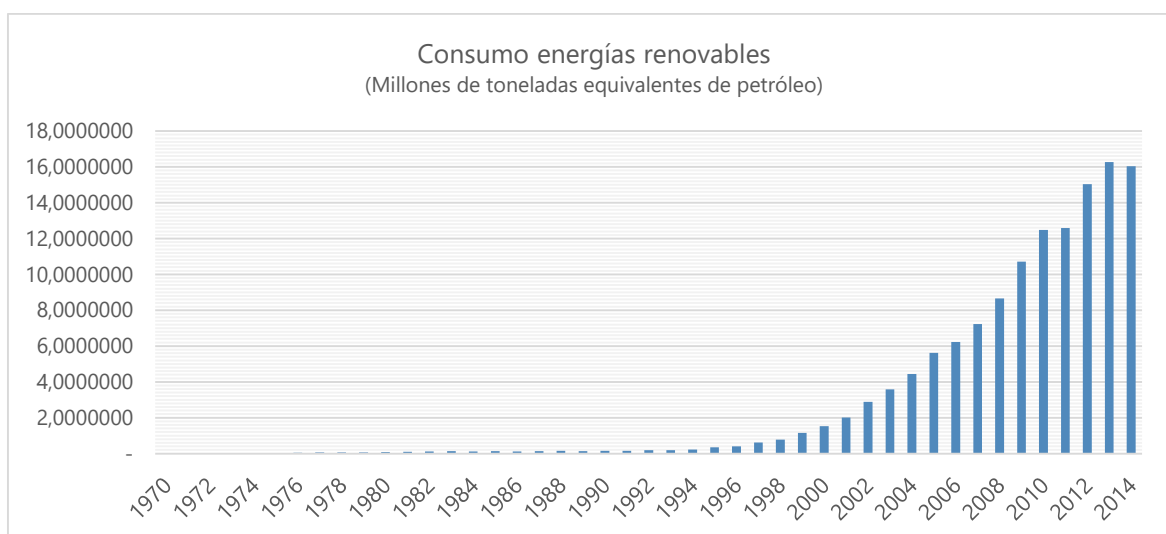
Las energías renovables en el 2014, con un valor de 16 millones de toneladas equivalentes de petróleo, representaron un 12,06% del consumo total. Este valor hace que España esté por encima de la media mundial en cuanto al uso de energías renovables, siendo el tercer país que más porcentaje de energía proveniente de energías renovables consume tras Dinamarca y Portugal.



**Gráfico 1.4: Consumo de energía en España por combustible (Fuente: <http://www.bp.com/statisticalreview>).**

Aunque las energías renovables solo representan un 12,06% de la energía anual consumida en España, suponen el 51% de la energía que se genera en España, al ser este un país importador de energía. Según el acuerdo fijado por la Unión Europea en 2008, para el 2020, el 20% de la energía primaria consumida debe proceder de energías renovables, por lo que España está a un 7,94% de conseguirlo a falta de 6 años.

Hasta el 1970 no hicieron aparición las energías renovables en España, y estuvieron estancadas en unos valores meramente anecdóticos hasta el 1999 donde despegaron y tuvieron un crecimiento exponencial hasta el 2011 que apenas creció respecto al 2011, aunque peor ha sido el 2014 en el que las energías renovables han bajado respecto al 2013 un 1,4%.



**Gráfico 1.5: Consumo de energías renovables en España (Fuente: <http://www.bp.com/statisticalreview>).**

Aunque este es un dato negativo para las energías renovables, si nos centramos únicamente en la energía eléctrica consumida en España la integración de las energías renovables de ha subido del 2013 a 2014 de un 42,0 % sobre la demanda a un 42,8% (104.231 GWh). Esta cifra aunque es pequeño, es un incremento, y es más significativo cuando vemos que la energía eléctrica demandada en España bajo del 2013 al 2014.

En el 2014 las energías renovables ahorraron 8.794 millones de euros, al evitar la importación de energía por una cantidad de 20,5 millones de toneladas equivalentes de petróleo, así como la emisión de 54,4 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>. En el 2013 el 72% de la energía consumida en España era importada.

Del mismo modo abarataron el precio del mercado diario eléctrico, "pool", en 7.105 millones de euros; 29,2 €/MWh pasando de los 71,33 €/MWh a 42,13 €/MWh que resultaron de la casación. Con un ahorro de 1.867 millones de euros superior a la retribución regulada (antiguas primas) percibida por las energías renovables. En el periodo del 2010/2014, el abaratamiento en el coste de adquisición de la electricidad en el mercado fue de 25.232 millones de euros.

En total, las energías renovables ahorraron al sector energético 15.899 millones de euros en concepto de ahorro de importaciones, emisiones y abaratamiento en el "pool" para el año 2014.

En el 2014 la retribución regulada fue un 22% menor que la del 2013, con un valor de 5.238 millones de euros. En la última década el ahorro generado por las energías renovables ha sido 32.199 millones de euros mayor que la retribución regulada recibida.

## 1.2. ENERGÍA SOLAR

El Sol es una estrella mediana situada en el centro del Sistema Solar, al cual da nombre. El Sol se formó hace unos 4.500 millones de años y dentro de unos 5.000 millones de años el Sol agotará su combustible nuclear y se convertirá en un "gigante rojo". Pero mucho antes, dentro de unos 1.500 millones de años debido al calentamiento gradual de sol los océanos de la Tierra empezaran a hervir, pero aun así el Sol parece ser una buena fuente de energía e "inagotable".

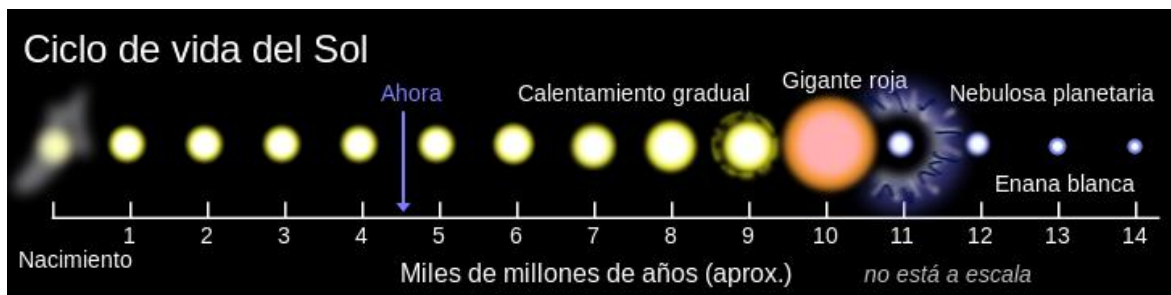


Figura 1.1: Ciclo de vida del Sol.

El Sol constituye la principal fuente de vida de la Tierra, pues dirige los ciclos biofísicos, geofísicos y químicos que mantienen la vida en el planeta, los ciclos del oxígeno, del agua, del carbono y del clima. Es la energía del Sol la que induce el movimiento del agua (mareas y olas), del viento y el crecimiento de las plantas, por ello la energía solar se considera el origen de la mayoría de las fuentes de energía renovables: eólica, hidroeléctrica, mareomotriz, undimotriz, geotérmica y la biomasa, además de la propia solar.

El Sol es una estrella que disipa, de media, una potencia en el espacio  $3,87 \cdot 10^{26}$  W ( $3,87 \cdot 10^{14}$  TW), pero la potencia que llega a la capa exterior de la Tierra situada a unos 150 millones de km es mucho menor, aproximadamente unos 173.000 TW. El consumo en el mundo en el 2014, como ya hemos visto, fue el equivalente 12.928,34 millones de toneladas de petróleo, o lo que es lo mismo  $12,93 \cdot 10^{16}$  kcal/año, o bien 150.330,38 TWh/año que supone 17,16 TWh lo cual supone unas 10.000 veces inferior a la potencia que llega a la capa exterior de la tierra.

De los 173.000 TW que inciden en la atmosfera de la tierra, 50.000 TW se reflejan en la alta atmosfera y 30.000 TW son absorbidos por la atmosfera, por lo que solo 90.000 TW llegan a la superficie, que es una radiación de  $900 \text{ W/m}^2$ .

La radiación que recibe la Tierra se compone de 49% infrarroja, 42% radiación visible y 9% ultravioleta y en función de cómo reciben los objetos situados en la superficie terrestre, se pueden distinguir tres tipos de radiación:

- Radiación directa: Es la radiación que llega directamente del Sol sin haber sufrido ningún cambio en su dirección. Es la única radiación que genera sombra.
- Radiación difusa: Es la radiación que al atravesar la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbidas por estas. Esta radiación va en todas las direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones.
- Radiación reflejada: Es la radiación que es reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del albedo, que es el coeficiente de reflexión de la superficie.

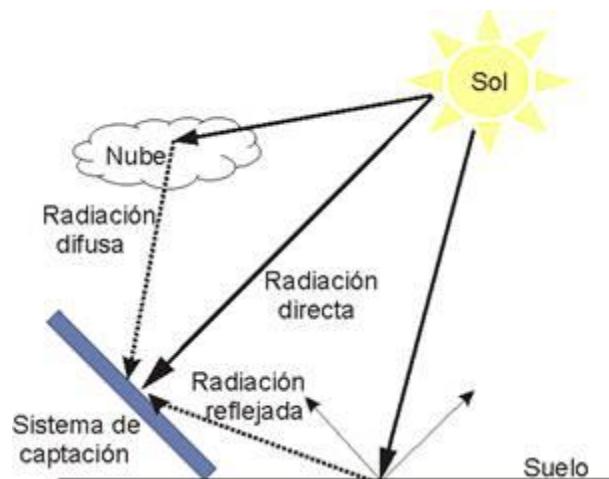


Figura 1.2: Tipos de radiación (Fuente: <http://www.monografias.com>).

La suma de las tres radiaciones es la radiación global que se mide con piranómetros, mientras que la radiación directa se mide con pirheliómetros y los heliógrafos son los encargados de medir las horas reales de sol (insolación).



Figura 1.3: De izquierda derecha: Piranómetro, pirheliómetro y heliógrafo.

---

### 1.2.1. ENERGÍA SOLAR PASIVA

La energía solar puede aprovechar pasivamente y es mediante sistemas que son capaces de convertir la luz del Sol en calor utilizable, almacenar ese calor para uso futuro, o producir movimientos de aire para enfriar o ventilar sin requerir de ningún equipamiento mecánico o eléctrico.

Los sistemas solares pasivos son caracterizados por no requerir ningún coste o un coste muy bajo para realizar su trabajo, bajo coste de mantenimiento y por supuesto no emiten gases de efecto invernadero. Las aplicaciones más importantes de los sistemas solares pasivos son la calefacción, refrigeración e iluminación, por lo que este tipo de energía está muy ligado a la arquitectura. Los sistemas solares pasivos se construyen sobre la estructura del edificio y una adecuada ubicación, diseño y orientación de los edificios, unido a una elección de los materiales; arquitectura bioclimática conlleva una reducción drástica en climatización e iluminación.

Se estima el sobre coste de un edificio bioclimático está en torno al 10% pero el ahorro puede llegar al 70% u 80%, más si es un edificio de utilización diurna como pueden ser oficinas, museos, colegios, etc.

---

### 1.2.1. ENERGÍA SOLAR ACTIVA

Como ya hemos dicho, el Sol está en el origen de todas las energías renovables. Así, el calentamiento de la tierra y del agua provoca las diferencias de presión que dan origen al viento, fuente de la energía eólica. El sol es, a la vez, el agente principal del ciclo del agua, que convierte la evaporación de los océanos en lluvia y, por lo tanto, en el recurso de la energía hidráulica.

También es Sol imprescindible del proceso de fotosíntesis y por ello origen principal de la energía que utiliza la biomasa. El sol es, en definitiva, la fuente de la vida en la tierra y debemos aprovechar su energía y las que, a partir de su influjo, la naturaleza transforma.

Pero en este punto nos centraremos en las energías generadas directamente por el Sol; energía térmica, energía termoeléctrica y energía fotovoltaica.

Dentro de la energía solar activa puede ser de baja temperatura, media temperatura y alta temperatura, según la captación directa, de bajo índice de concentración o de alto índice de concentración.



### 1.2.2.1. ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

La energía solar termoeléctrica se clasifica en sistemas de baja temperatura. Consiste en el aprovechamiento del calor solar mediante el uso de colectores o paneles solares térmicos para la producción de agua caliente sanitaria principalmente.

Se calienta directamente un fluido caloportador que circula a través del circuito interior del panel solar térmico. Es una forma limpia de calentamiento ya que no se quema ningún tipo de combustible fósil. El agua caliente se almacena en un acumulador estando disponible en cualquier momento. Dicha energía está demostrando ser el sistema para producción de agua caliente más económico y ecológico de entre todos los existentes en la actualidad.



**Figura 1.4: Colector o panel solar térmico.**

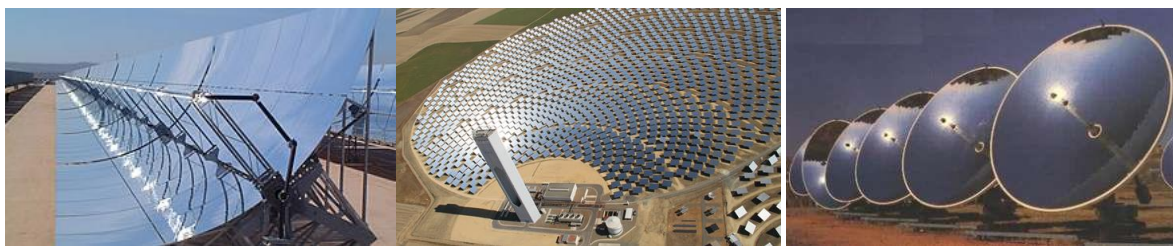
**Calentador solar:** Es de fácil instalación y comúnmente se instala en edificios para conseguir agua caliente sanitaria, calefacción y calentamiento de piscinas. También puede verse en instalaciones agropecuarias para la calefacción de los invernaderos, agua caliente de las piscifactorías, etc.

**Refrigeración Solar:** Una instalación de refrigeración con energía solar consiste, básicamente, en una máquina de absorción, que se alimenta con agua calentada mediante

una instalación de energía solar térmica, y que produce agua enfriada que se utiliza para refrigerar un recinto.

### 1.2.2.2. ENERGÍA SOLAR TERMOELÉCTRICA

La energía solar termoeléctrica se clasifica en sistemas de media temperatura y sistemas de alta temperatura. Los colectores cilindroparábolicos son las centrales de media temperatura más desarrolladas actualmente. La generación de alta temperatura se realiza mediante centrales de torre y centrales de generadores discoparábolicos.



**Figura 1.5: Cilindroparábolicos, centrales de torre y generadores solares discoparábolicos.**

Las centrales de colectores cilindroparábolicos están formadas por colectores de espejo que reflejan la radiación sobre un tubo situado en la línea focal, el cual contiene el absorbente y el fluido caloportador. El fluido es calentado hasta una temperatura de 400 °C, con relaciones de concentración solar de entre 15 y 50, produciendo vapor sobrecalentado que alimenta una turbina convencional que genera electricidad. Es necesario disponer de un sistema de seguimiento solar.

Las centrales de torre están formadas por un campo de helióstatos (un espejo o conjunto de espejos que forman una superficie muy grande y se mueven ya sea en uno o dos ejes con el objetivo de seguir el movimiento del sol) que reflejan la radiación sobre un intercambiador de calor situado en la parte superior de una torre central. Se pueden alcanzar temperaturas de hasta 600 °C.

Los generadores solares disco parabólicos están formados por un conjunto de espejos que forman una figura disco-parabólica en cuyo foco se dispone el receptor solar en el que se calienta el fluido. El fluido es calentado hasta una temperatura de 750 °C y se utilizan motores térmicos o turbinas Brayton para generar electricidad.

Los colectores cilindroparábolicos y las centrales de torre y son más apropiados para proyectos de gran tamaño y conectados a red, en un rango de 30 a 200 MW; mientras que los sistemas discoparábolicos son modulares y por ello pueden ser usados indistintamente en aplicaciones para grandes proyectos o individuales.

En la actualidad las plantas de colectores cilindroparabólicos tienen la tecnología más madura de la tres y, por tanto es utilizable a corto plazo.

Las centrales de torre, con bajo coste y almacenamiento térmico eficiente, prometen ofrecer plantas únicamente solares con alto factor de capacidad.

En el 2012 España con 35 centrales termoeléctricas, que en conjunto tienen una potencia de 1.581 MW, generaba el 72,85% de toda la energía solar termoeléctrica del mundo. En abril del 2015 contaba con 50 centrales y una potencia instalada de 2.353,9 MW.

### 1.2.2.3. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía que produce electricidad directamente a partir de la radiación solar, el fundamento de esta energía es el efecto fotoeléctrico o fotovoltaico que se produce al incidir la luz solar sobre materiales semiconductores, que tiene la propiedad de absorber fotones y emitir electrones, generando una pequeña diferencia de potencial que puede ser aprovechada, al conectar en serie varios de estos dispositivos, para generar una corriente eléctrica que se transformara en energía eléctrica.

En 1.839 el físico francés Alexandre-Edmond Becquerel fue el primero en constatar el efecto fotoeléctrico, pero fue el físico alemán Heinrich Rudolf Hertz en 1.889 quien observó que el arco que salta entre dos electrodos conectados a alta tensión, alcanza distancias mayores cuando se ilumina con luz ultravioleta que cuando se deja en la oscuridad y estableció que los electrones de una superficie metálica pueden escapar de ella si adquieren la energía suficiente, suministrada por luz de longitud de onda lo suficientemente corta.

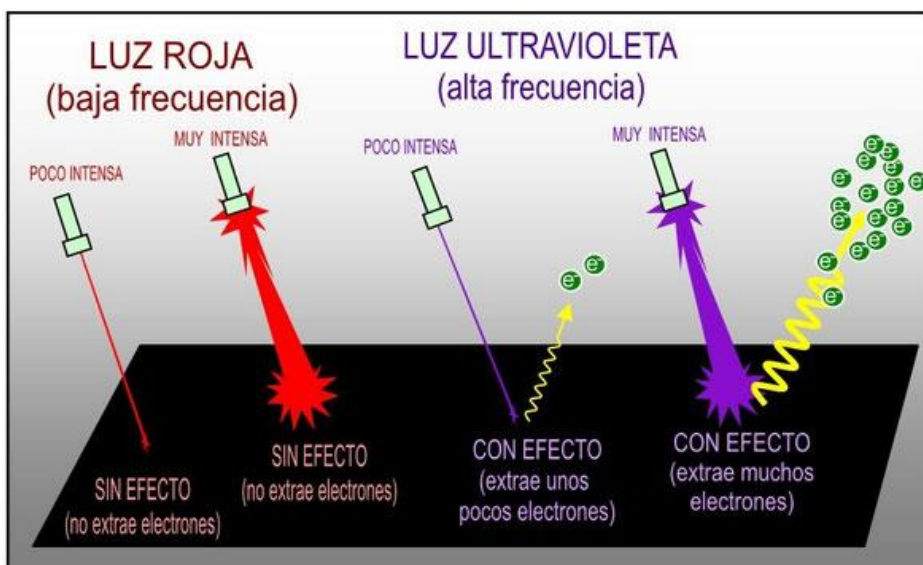


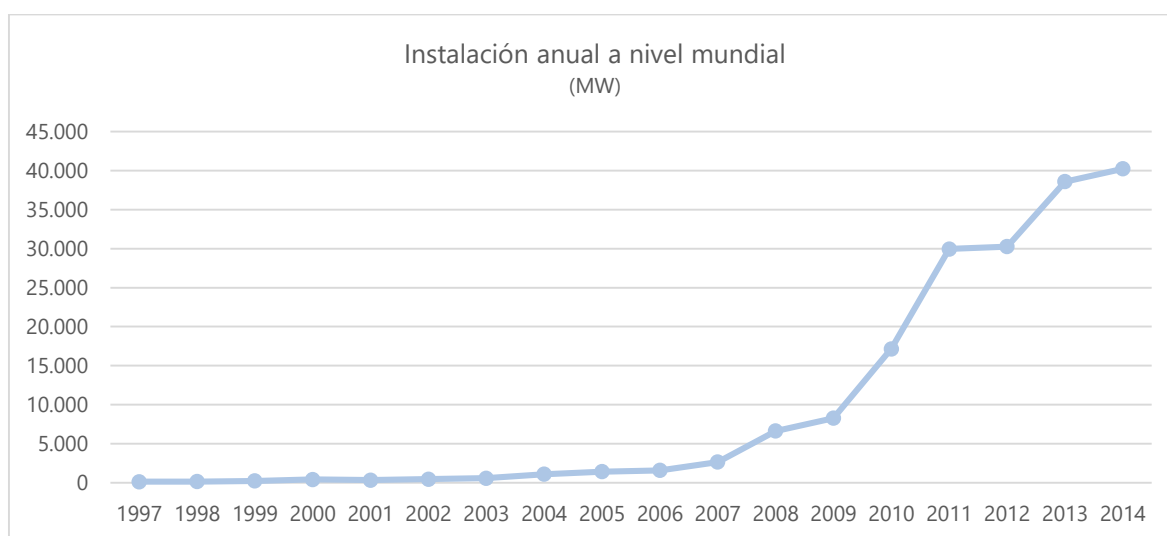
Figura 1.6: Efecto fotoeléctrico (Fuente: <http://www.canaldeciencias.com>)

En 1.905 Albert Einstein pudo explicar el efecto fotoeléctrico, Einstein suponía que la radiación electromagnética está formada por paquetes de energía, y que dicha energía depende de la frecuencia de la luz. A estos paquetes de energía se les denominó posteriormente fotones. En 1.921 Einstein ganó el Premio Nobel de Física gracias a un trabajo en el que se describe la naturaleza de la luz y el efecto fotoeléctrico y en el cual está basada la tecnología fotovoltaica.

Hasta el 1.954 no se construye el primer módulo fotovoltaico en los Laboratorios Bell y es tratado como un experimento científico ya que su coste era demasiado elevado para su utilización a gran escala. Fue en esa década la carrera espacial la que impulsó el desarrollo de los paneles fotovoltaicos, pues fueron inicialmente utilizados para suministrar electricidad a satélites geoestacionarios de comunicaciones.

Aunque no fue hasta el 2004 cuando la energía solar fotovoltaica empezó a coger cierta importancia a nivel mundial siendo, en los últimos años donde más energía solar fotovoltaica se ha instalado, llegando a instalar en el 2014 más de 40 GW siendo un record histórico, situando la instalación total de energía solar fotovoltaica en 180 GW. Esto en parte es debido que en menos de diez años el precio de explotación de la energía solar fotovoltaica ha bajado un 75%. Las previsiones son que en cinco años haya instalada una potencia de 540 GW en el mundo y 180 GW en Europa, lo que supondría que Europa tendría capacidad de energía solar fotovoltaica que tiene en la actualidad el mundo.

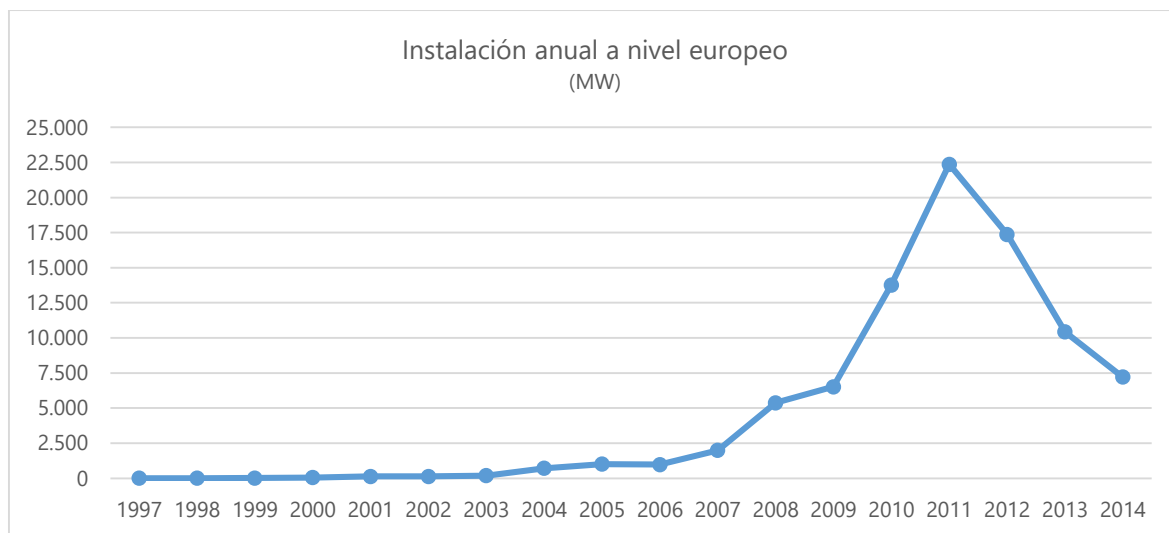
En el 2014 China, Japón y Estados Unidos de América fueron los países con mayor instalación, solo entre China y Japón instalaron más de 20 GW lo que supone 50,34% de la instalación mundial del 2014. Situándose como segundo y tercer país con mayor capacidad de energía solar fotovoltaica tras Alemania y desbancando a Italia del segundo lugar.



**Gráfico 1.6: Evolución de la instalación a nivel mundial (Fuente: European Photovoltaic Industry Association EPIA)**

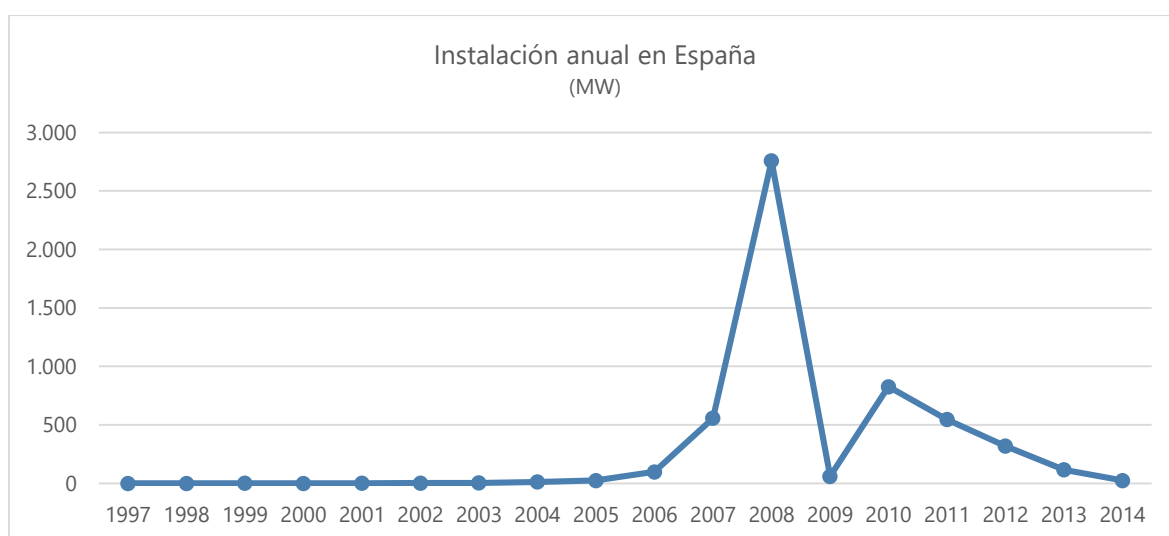
A nivel europeo es el cuarto año consecutivo en el que la instalación decrece respecto año anterior, pasando de los 22 GW que se instalaron en el 2011 a los 7 GW

instalados en el 2014. En el 2014 por primera vez lidera la instalación anual en Europa el Reino Unido con 2,4 GW lo que supone un crecimiento del 88,1% respecto al 2013. Alemania seguido de Italia y Francia son los países europeos con mayor capacidad de energía solar fotovoltaica.



**Gráfico 1.7: Evolución de la instalación a nivel europeo (Fuente: EPIA)**

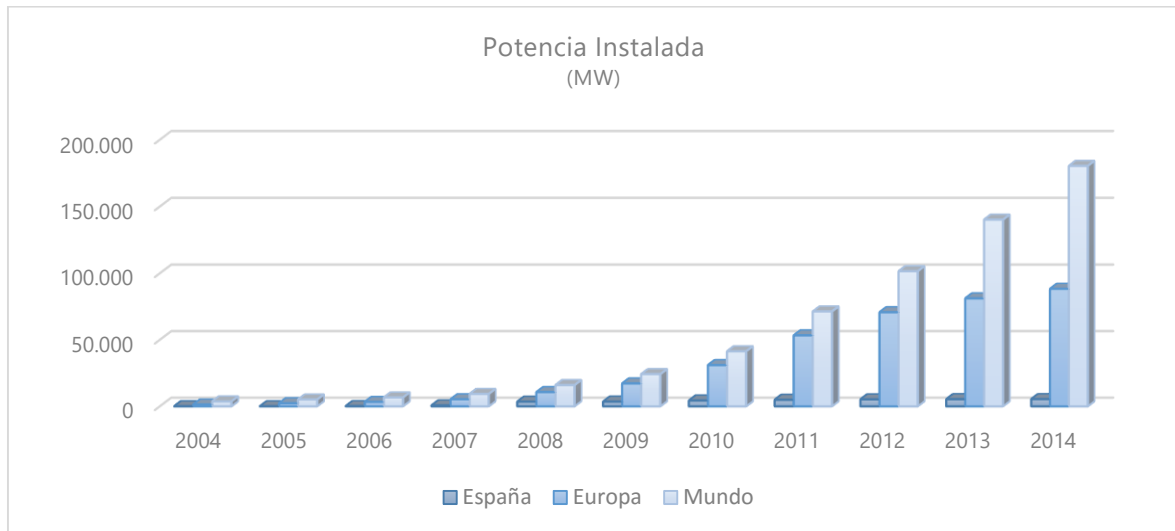
España con 5,4 GW es el séptimo país a nivel mundial y el cuarto a nivel europeo en capacidad de energía solar fotovoltaica. Desde que en el 2007 y 2008, gracias entre otras cosas a la retribución reguladora, casi cuadruplicara la instalación del año anterior, la tendencia ha ido a la baja en instalación fotovoltaica, llegando a caer hasta los 25 MW del 2014 lo que supone un incremento del 0,5% sobre la potencia ya instalada.



**Gráfico 1.8: Evolución de la instalación en España (Fuente: EPIA)**



Con 5.358 MW de potencia fotovoltaica tiene instalados España en el 2014, supone el 2,97% de la capacidad mundial y un 6,06% de la europea. Estas cifras quedan muy lejos de las registradas en el 2007 donde España ocupaba el tercer puesto a nivel mundial de potencia fotovoltaica instalada, con una cuota del 32,42% de la energía solar fotovoltaica europea y 21,74% a nivel mundial, es decir, casi una cuarta parte de la energía solar fotovoltaica en el 2007 estaba instalada en España.



**Gráfico 1.9: Potencia de energía solar fotovoltaica instalada en (Fuente: EPIA)**

## 2. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Un sistema fotovoltaico es un conjunto de dispositivos que, a partir de la radiación, produce energía eléctrica, es decir, transforma la energía solar en energía eléctrica en condiciones de poder ser aprovechada. Debido a esto la generación de energía eléctrica depende directamente de las horas de Sol.

Los dispositivos encargados de absorber la energía solar son las células fotovoltaicas. Este es el elemento de los sistemas fotovoltaicos que tiene la capacidad de producir energía eléctrica al aprovechar la radiación solar que incide en ellos, por ello es importante el ángulo elegido de inclinación de las células fotovoltaicas. Las células fotovoltaicas son fabricadas con materiales semiconductores en los que se realiza una unión p-n que crea un campo eléctrico que posibilita el efecto fotovoltaico; transformar la energía de los fotones que viajan a través de los rayos solares en corriente eléctrica.

En definitiva la generación de energía eléctrica depende de las horas solares, el ángulo de incidencia de los rayos solares, tipo de radiación que les llegue a los paneles solares y la orientación de los mismo.

Los sistemas fotovoltaicos son un sistema de generación de energía renovable y que presenta las siguientes ventajas:

- Es renovable por lo que no agota los recursos naturales, a la escala temporal humana es inagotable.
- No consume combustibles por lo que reduce la dependencia de estos.
- No es contaminante; no produce emisiones de CO<sub>2</sub> ni de otros gases contaminantes y tampoco genera residuos.
- No necesita agua, el cual es un bien escaso.
- Necesita un nivel bajo de mantenimiento. El único mantenimiento programado es controlar el nivel del electrolito en la batería y añadirle agua destilada.
- Bajo riesgo de avería. Las baterías de tipo estacionario tienen estimación de vida de unos 15 años y los módulos fotovoltaicos de unos 25 años (los modelos actuales están publicitando 30 años de vida útil).
- Es modular, por lo que mediante la incorporación de nuevos módulos fotovoltaicos puede aumentar fácilmente la potencia.
- Es una energía silenciosa.
- Es sistema de generación que se puede integrar en zonas residenciales y edificios.
- Es instalable en zonas rurales o de difícil acceso para la distribuidora de la red eléctrica.
- De fácil y rápida instalación a no requerir grandes infraestructuras.
- Una vez instalada tiene un coste energético nulo.

Pero no está exenta de inconvenientes en los sistemas fotovoltaicos, principalmente:

- Fuerte dependencia de la radiación solar y de la temperatura, lo que implica que la producción no es constante, estando ésta a expensas de la meteorología del emplazamiento.
- Solo produce energía en las horas de Sol, por lo que se requiere de baterías para almacenar la electricidad necesaria en las horas nocturnas.
- Es necesario grandes superficies para la instalación del generador fotovoltaico, del orden de 10 m<sup>2</sup>/kW en instalaciones en azoteas y de 20 m<sup>2</sup>/kW en instalaciones grandes.
- Los módulos fotovoltaicos se ven afectados por las sombras parciales en su superficie.
- Impacto en el proceso de fabricación de las placas: extracción del Silicio, para la fabricación de las células fotovoltaicas.

### 2.1. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Los sistemas fotovoltaicos nacieron por la necesidad de proporcionar energía en satélites espaciales, donde la red de distribución no podía llegar, gracias al impulso de la carrera espacial los módulos fotovoltaicos sufrieron un gran desarrollo y reducción de precio lo cual los hizo rentables para zonas remotas, lejos de la red eléctrica, pues era más barato instalar un sistema fotovoltaico que trazar una nueva línea de cableado.

En las década de los 90 impulsados por las ayudas gubernamentales se desarrollaron sistemas fotovoltaicos que inyectaban la energía eléctrica generada a la red distribución.

En función de la aplicación al que estén destinados se clasifican como; sistema fotovoltaico aislado o sistema fotovoltaico conectado a red (SFCR).



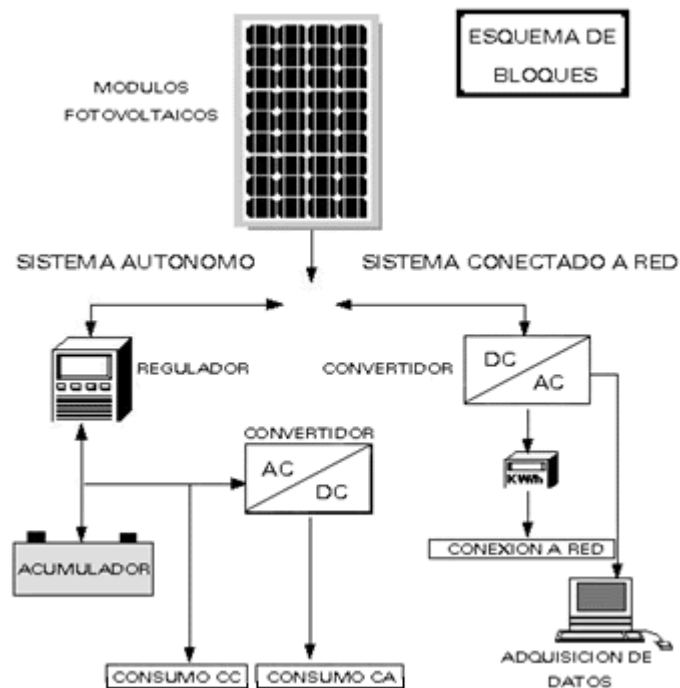


Figura 2.1: Esquema de los tipos de sistemas fotovoltaicos (Fuente: <http://technologysolar.blogspot.com.es>)

### 2.1.1. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AISLADOS

Los sistemas fotovoltaicos aislados de la red, también conocidos como de autoconsumo, hacen posible la electrificación de manera autónoma, en aquellos lugares donde no llega la red eléctrica o en los que conectarse a la red de distribución no es viable técnica o económicamente.

Otras soluciones para electrificar zonas remotas son grupos electrógenos o baterías, pero los sistemas fotovoltaicos presentan la ventaja de que no necesitan combustible y no tiene una carga limitada, por lo que las tareas de mantenimiento son mucho menores. Además son instalaciones silenciosas y ecológicas.

Este tipo de instalación suele necesitar acumuladores (baterías) puesto que los periodos de producción del generador, horas de Sol, no tienen que coincidir con los horarios de demanda eléctrica. Aunque es común que los sistemas fotovoltaicos aislados lleven acumuladores, no es obligatorio, pues por ejemplo un equipo de riego puede fijarse que riegue siempre en las horas de radiación solar. Para proteger los acumuladores es necesario instalar reguladores de carga que controlen la entrada en los acumuladores de la electricidad, protegiéndolos contra sobrecargas o bajadas de tensión.

Para este tipo de instalación es necesario estimar el consumo medio energético diario de la carga para dimensionar la instalación teniendo en cuenta el rendimiento

energético de la misma y puede determinar el generador mínimo necesario y en función de ello el tamaño del acumulador.

En los sistemas fotovoltaicos aislados hay dos grandes grupos:

### Aplicaciones espaciales:

Están diseñadas para proporcionar energía eléctrica a dispositivos colocados por el ser humano en el espacio. Como ejemplo la Estación Espacial Internacional que tiene una superficie de 2.500 m<sup>2</sup> de paneles fotovoltaicos que generan 110 kW.



**Figura 2.2: Robot Mars Pathfinder alimentado por placas solares fotovoltaicas (Fuente: <http://www.xtec.cat>).**

### Aplicaciones terrestres:

Que pueden ser de uso profesional o personal y que sus principales aplicaciones son en el campo de:

- Electrificación de zonas aisladas, donde el coste de llevar la red eléctrica es muy alto.
- Telecomunicaciones, en repetidores o postes.
- Señalización, cada vez es más común que las señales de tráfico sean luminosas.
- Bombeo de agua, sobre todo en zonas agrícolas o países en desarrollo.
- Telemetría, alimenta los sistemas de medición, por ejemplo atmosféricos, que están en zonas no pobladas.

Sin olvidarnos otras aplicaciones como; juguetes, calculadores, alumbrado de jardines, etc.



**Figura 2.3: Farolas alimentadas por placas solares fotovoltaicas (Fuente: [www.tecsol24h.net](http://www.tecsol24h.net)).**

---

### 2.1.2. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A RED

Los sistemas fotovoltaicos conectados a red son instalaciones donde el productor no consume la energía (o no su totalidad), si no que es vendida a la red de distribución usando un punto de conexión de baja o media tensión, que lo idóneo es que esté cerca de la instalación. Son necesarios elementos de medición, contador, para la facturación de la energía inyectada a red y también sería necesario otro contador para contabilizar el posible consumo, o un contador bidireccional que puede realizar ambas funciones.

Los sistemas fotovoltaicos conectados a red tienen la ventaja que la producción de la electricidad se realiza cuando lo hace la demanda, es decir, durante el día.

En los sistemas fotovoltaicos conectados a red podemos distinguir dos grupos:

#### Centrales fotovoltaicas y huertos solares:

A estas instalaciones también se las conoce como instalaciones de superficie dedicada, ya que son instalaciones industriales en las que la superficie utilizada para posicionar los módulos fotovoltaicos, normalmente el suelo, es de uso exclusivo o prioritario para la generación fotovoltaica.

Las centrales fotovoltaicas se emplazan en terrenos alejados de los núcleos urbanos, pues necesitan una gran superficie de terreno ya que suelen ser instalaciones de varios MWp ya que su fin es vender la energía a la red distribuidora.

Son instalaciones con grandes infraestructuras; inversores, edificios de control, unidades de protección, centro de transformación, unidades de medición, etc.



Los huertos solares es básicamente lo mismo que una central fotovoltaica salvo que son varias instalaciones de diferentes propietarios, pero que comparten infraestructuras.



**Figura 2.4: Parque Solar Fotovoltáico "Malpartida de Cáceres" (Fuente: <http://www.cyopsa.es>).**

### Edificios fotovoltaicos:

A estas instalaciones también se las conoce como instalaciones de superficie utilizable ya que son instalaciones cuyo generador fotovoltaico se encuentra en una superficie cuyo uso principal es diferente del de la instalación fotovoltaica, como, por ejemplo, la utilización de tejados de viviendas para el montaje de los módulos fotovoltaicos.

En este tipo de instalación se puede vender toda la producción a la red de distribución o bien usar la producción para el consumo del edificio y el excedente venderlo a la red de distribución, en cuyo caso abarataríamos el coste de la factura eléctrica y necesitaríamos dos contadores o uno bidireccional.

La mayoría de estas instalaciones están integradas en los tejados o azoteas de los edificios, pues es donde la radiación solar es máxima, pero también existen integrados en muros y fachadas, donde es práctica habitual sustituir el vidrio por módulos fotovoltaicos,

por lo también se tendrá que tener en cuenta el aspecto estético a la hora de elegir el módulo fotovoltaico.



**Figura 2.5: Cubierta solar del Palacio de Congresos de Valencia (Fuente: <http://www.levante-emv.com>).**

## 2.2. ELEMENTOS DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

Un sistema fotovoltaico tiene diferentes elementos según el uso que tenga, cada configuración del sistema fotovoltaico necesitará ciertos elementos adicionales, pero en todas está presente el generador fotovoltaico.

Como el proyecto está centrado en un SFCR a continuación vamos a describir los elementos principales de este tipo de instalación.

---

### 2.2.1. GENERADOR FOTOVOLTAICO

El generador fotovoltaico son el conjunto de sistemas encargados de generar energía eléctrica a partir de la energía solar. Está compuesto por módulos fotovoltaicos, que

estarán conexionado en serie y paralelo para obtener la tensión y corriente solicitadas por la instalación.

#### 2.2.1.1. CÉLULA FOTOVOLTAICA

El término fotovoltaico viene del griego luz y del nombre del físico italiano Volta. Literalmente significa luz y electricidad. El efecto fotovoltaico fue atribuido por primera vez, en 1.839, al físico francés Alexandre-Edmond Becquerel, sin embargo, no fue hasta 1.883 cuando Charles Fritts construyó la primera célula fotovoltaica, recubriendo un semiconductor de selenio por una fina capa de oro, formando las primeras uniones p-n. Este pequeño dispositivo sólo tenía una eficiencia del 1%. Russell Ohl patentó la moderna célula solar en 1946.

La célula fotovoltaica es un dispositivo electrónico formado por una delgada placa de material semiconductor, normalmente silicio, que permite transformar la energía luminosa (fotones) en energía eléctrica (electrones) mediante el efecto fotoeléctrico.

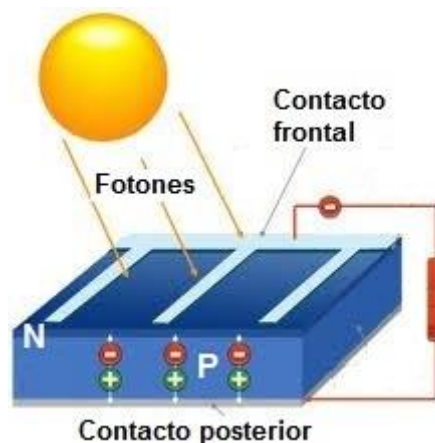


Figura 2.6: Efecto fotoeléctrico (Fuente: <http://ingemecanica.com>)

La célula fotovoltaica normalmente es de forma cuadrada con una superficie que varía entre los 100 y 225 mm<sup>2</sup>. La célula fotovoltaica suele tener un espesor entre 0,25 y 0,35 mm, estando constituida por silicio monocristalino o policristalino.

También existe el silicio amorfo para construir módulos fotovoltaicos, pero con el amorfo, en realidad, no se puede hablar de células porque se trata de deposiciones de silicio (en estado amorfo) en superficies que pueden ser incluso amplias.

El material semiconductor es tratado con varios procesos químicos, entre ellos está el llamado "dopado". Se inserta en la estructura cristalina de silicio impurezas, átomos de



boro y fosforo, se genera un campo eléctrico y también se ponen a disposición las cargas necesarias a la formación de la corriente eléctrica. La corriente eléctrica se genera cuando la célula, cuyas dos caras están conectadas a un dispositivo eléctrico, esté expuesta a la luz.

La eficiencia de una célula fotovoltaica es el porcentaje de energía de la radiación solar que se transforma en energía eléctrica. La eficiencia de las células fotovoltaicas que están en el mercado oscila entre el 13% y el 17%, llegando a alcanzar al 33% en algunas células de laboratorio.

La potencia de las células fotovoltaicas varía con la temperatura y la radiación que incide sobre ellas, por lo que para poder tener una referencia se han establecido unas condiciones estándar de medida (*Standard Test Condition*) que dan origen al vatio pico (Wp) que es la potencia generada por la célula fotovoltaica a la temperatura de 25°C bajo una radiación de 1.000 W/m<sup>2</sup> y en condiciones de Am 1,5 G.

Los parámetros de la célula fotovoltaica serán los mismos que se han definido en el módulo fotovoltaico.

### 2.2.1.1.1. GENERACIÓN DE ENERGÍA

---

Cuando la luz incide sobre ciertos materiales (semiconductores), los fotones de la radiación solar son capaces de transmitir su energía a los electrones de valencia del semiconductor para que rompan el enlace que les mantiene ligados a los átomos respectivos (formación de pares electrón-hueco). Por cada enlace roto queda un electrón libre para circular dentro del sólido. La falta del electrón en el enlace roto (hueco), también puede desplazarse libremente por el interior del sólido, transfiriéndose de un átomo a otro debido al desplazamiento del resto de los electrones de los enlaces.

Dicho esto, para generar energía eléctrica el sistema más común es el creado por la unión de dos semiconductores P-N. La corriente eléctrica generada en las células solares se crea en la unión de las regiones del cristal semiconductor.

En las células de silicio, la región tipo N se impurifica con fósforo que tiene un electrón de valencia más que el silicio (cinco en total) ésta región tiene una concentración de electrones mucho mayor que la otra región, la tipo P. La región tipo P se impurifica con boro, que tiene un electrón valencia menos que el silicio (3 en total) y es una región con una concentración de huecos mayor que la de electrones. Estas diferencias de concentraciones de electrones y huecos entre las regiones hacen que se cree un campo eléctrico dirigido de la región P a la región N.

En las células de silicio la unión P-N se consigue difundiendo fósforo en una oblea de silicio que originalmente está toda ella impurificada con boro (tipo P, región también denominada base). La unión es muy superficial, con valores típicos de la capa difundida

(región N, o emisor) de 0,2 a 0,5  $\mu\text{m}$ . Las células tienen un espesor comprendido entre 100 y 500  $\mu\text{m}$ .

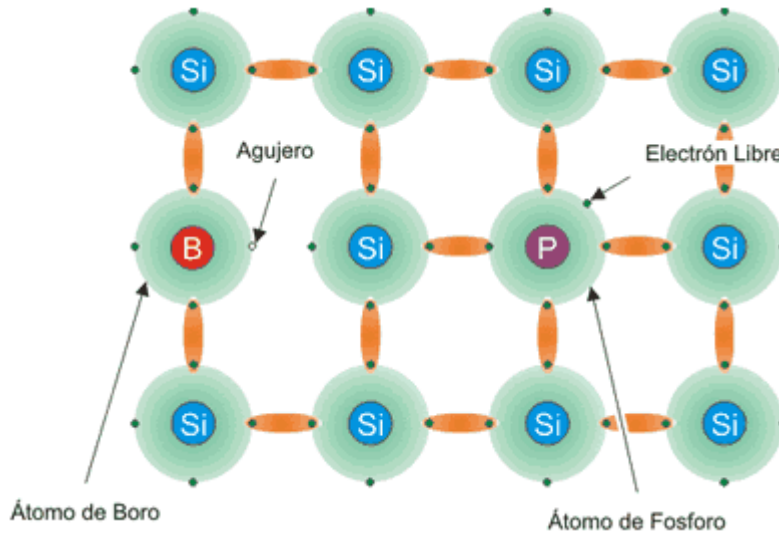


Figura 2.7: Dopado del silicio (Fuente: <http://www.textoscientificos.com>).

Así pues, una célula solar fotovoltaica está constituida por un disco cristalino de silicio, dopado en su superficie superior (expuesta al Sol) hasta hacerla de tipo N, mientras que su parte inferior se deja de tipo P. Así se produce una unión P-N paralela a la superficie iluminada de la célula fotovoltaica.

Para instalar contactos eléctricos al semiconductor, se depositan dos capas metálicas sobre ambas caras de la célula, pero la de la cara superior en forma de rejilla, ya que de lo contrario no sería posible que la luz entrase en el semiconductor.

La corriente fotovoltaica generada sale por el contacto P, atraviesa una carga externa, y vuelve a entrar por el contacto N.

En la parte superior, en la que incide la radiación solar, lleva un tratamiento anti reflectante con una forma piramidal con el fin de minimizar las pérdidas de radiación cuando incide en la célula fotovoltaica.



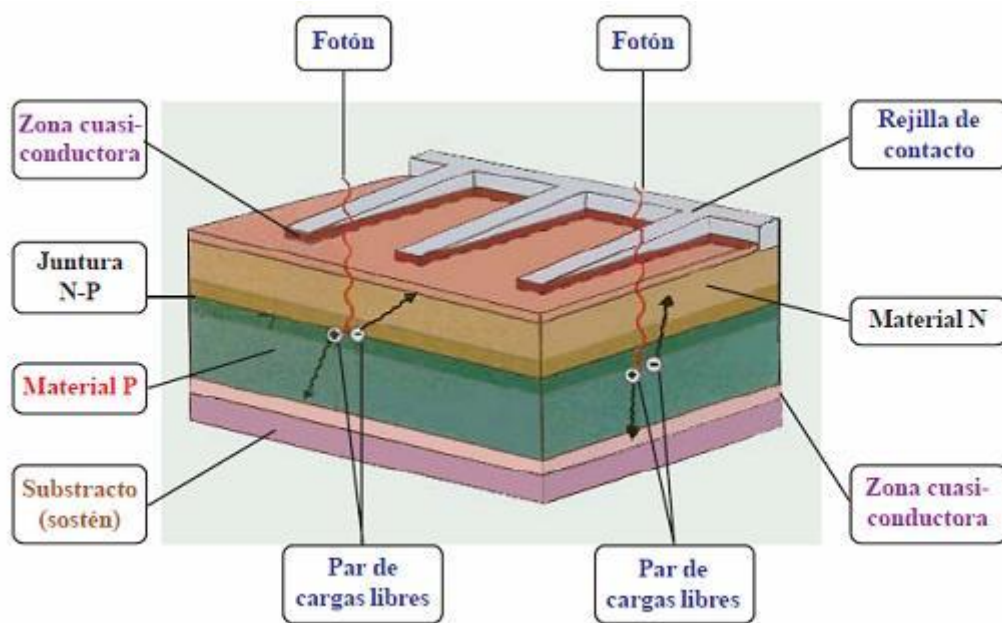


Figura 2.8: Estructura interna de una célula fotovoltaica.

En el circuito equivalente de una célula fotovoltaica la fuente de corriente representa la corriente generada. El diodo representa la unión P-N con su campo eléctrico.

La resistencia en serie ( $R_s$ ) representa la resistencia al paso de la corriente eléctrica en los semiconductores, uniones, contactos y demás elementos de la célula. La recombinación de cargas en el interior de la célula se representa con un camino alternativo para la corriente generada a través de una resistencia en paralelo con la fuente de corriente.

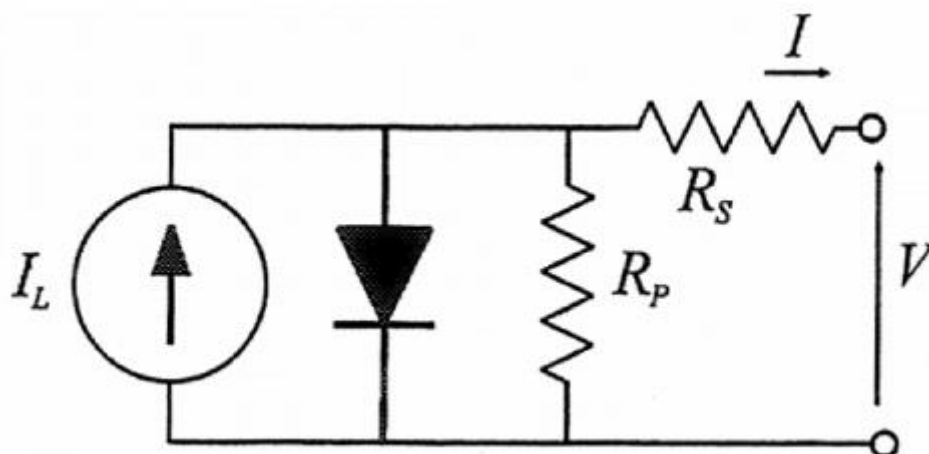


Figura 2.9: Circuito equivalente de una célula fotovoltaica.

#### 2.2.1.1.2. MATERIALES DE LAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

El silicio es el elemento más común para la fabricación de las células fotovoltaicas y tiene básicamente tres tecnologías de fabricación:

##### Monocristalino:

Son típicamente azules homogéneos. Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro. Tiene un rendimiento entre el 15% y el 18% (24% en laboratorio).

##### Policristalino:

La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos de azul. Se obtiene igual que el monocristalino pero con menor número de fases de cristalización. Tiene un rendimiento entre el 12% y el 14% (20% en laboratorio).

##### Amorfo:

Tiene un color homogéneo marrón. Se deposita en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico. Tiene un rendimiento menor del 10% (16% en laboratorio).

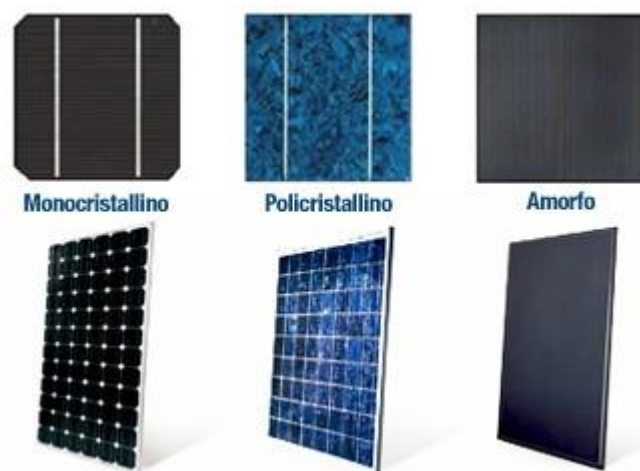


Figura 2.10: Representación de las tres tecnológicas de fabricación (Fuente: <http://enersave.es>).

También existen células fotovoltaicas que no están basadas en el silicio pero de momento tienen costes elevados por lo que en la actualidad tienen poca representación en el mercado. Cabe destacar:

##### Células de arseniuro de galio:

Tiene un alto rendimiento cercano al 27%. Tecnología poco avanzada con costes elevados.

### Células bifaciales:

Son células activas en sus dos caras. Rendimiento alto, en torno al 30% pero son muy caras y complejas para instalar.

### Células de sulfuro de azufre y sulfuro de cadmio:

Tiene unos rendimientos bajos, pero es una posible alternativa de bajo coste en el futuro.

---

#### 2.2.1.2. MODULO FOTOVOLTAICO

Una célula fotovoltaica solamente es capaz de generar una tensión de algunas décimas de voltio (para las células de silicio típicamente alrededor de medio voltio) y una potencia máxima de uno o dos vatios. Es preciso conectar entre sí en serie y/o paralelo un determinado número de células para producir las tensiones de 6, 12 o 24 V aceptadas en la mayor parte de las aplicaciones. Al conjunto así formado se le denomina módulo fotovoltaico.

Los contactos negativos están unidos por un camino conductor soldable, esta es la cara de la celda que debe mirar hacia el Sol. Los contactos positivos son puntos de material soldable, esta es la cara de la celda que permanece a la sombra.

La célula fotovoltaica tiene que ir protegida contra los agentes externos, por lo que el módulo fotovoltaico estará compuesto por varias capas:

- Una cubierta exterior transparente, generalmente una placa de fibra de vidrio, de entre 3 o 4 mm de espesor, con su cara exterior texturada para mejorar el rendimiento cuando la radiación solar ocurre a bajo ángulo de incidencia, así como para absorber mejor la radiación solar difusa del ambiente.
- Una capa de vinilo de acetato etileno (EVA), que sirve para recubrir las células fotovoltaicas dentro del módulo, que permite el asilamiento dieléctrico y protege de la entrada de aire o humedad, y evitando así que se produzca la oxidación del silicio que conforma las células.
- Las células fotovoltaicas.
- Una capa de EVA.
- Una lámina de TEDLAR que sirve de aislante.

Todo ello dentro de un marco estructural, generalmente de aluminio anodizado, que ofrece la resistencia mecánica y soporte a todo el conjunto.

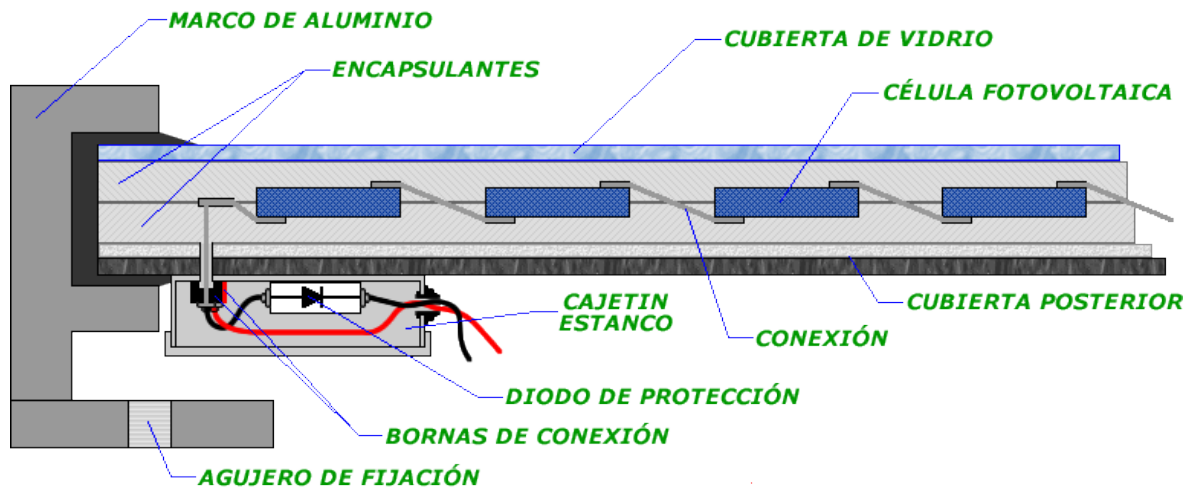


Figura 2.11: Sección de un módulo fotovoltaico (Fuente: <https://www.ujaen.es>).

#### 2.2.1.2.1 PARÁMETROS DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO

Los parámetros fundamentales de un módulo fotovoltaico son básicamente los de la célula fotovoltaica y son:

- Tensión de circuito abierto ( $V_{oc}$ ): Máxima tensión de la célula fotovoltaica, que se consigue cuando no está conectada ninguna carga.
- Corriente de cortocircuito ( $I_{cc}$ ): Máximo valor de corriente de la célula fotovoltaica, que se consigue cuando sus terminales están cortocircuitados, la tensión es igual a cero.
- Potencia máxima ( $P_{max}$ ): Es la potencia eléctrica máxima que puede generar una célula fotovoltaica. Depende de la radiación incidente.

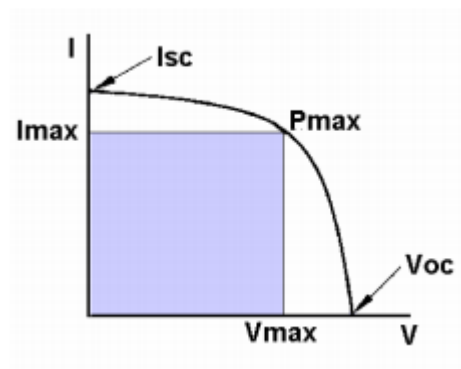


Figura 2.12: Curva de I-V del módulo fotovoltaico.

- Potencia pico (Wp): Es la potencia máxima en condiciones estándares; irradiación  $1.000 \text{ W/m}^2$ , temperatura de las células de  $25^\circ\text{C}$  y el espectro de luz corresponde a una masa de aire de 1,5. Es un valor teórico.

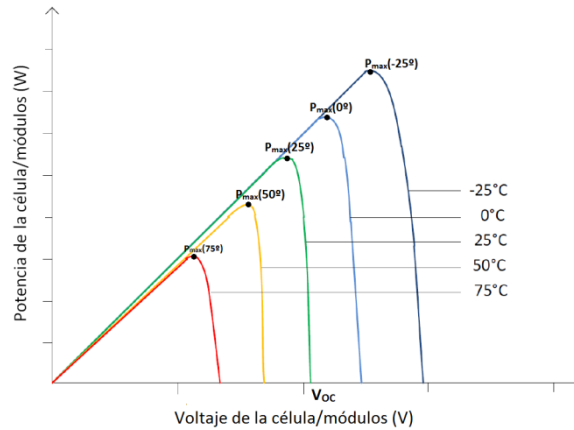


Figura 2.13: Curva de P-V del módulo fotovoltaico en función de la temperatura.

- Factor de forma (FF): Es el cociente de potencia máxima que se puede entregar a una carga entre el producto de la tensión de circuito abierto y la intensidad de cortocircuito.
- Rendimiento: ( $\eta$ ): Es el cociente entre la máxima potencia eléctrica que se puede entregar a la carga y la potencia de radiación incidente sobre la célula.

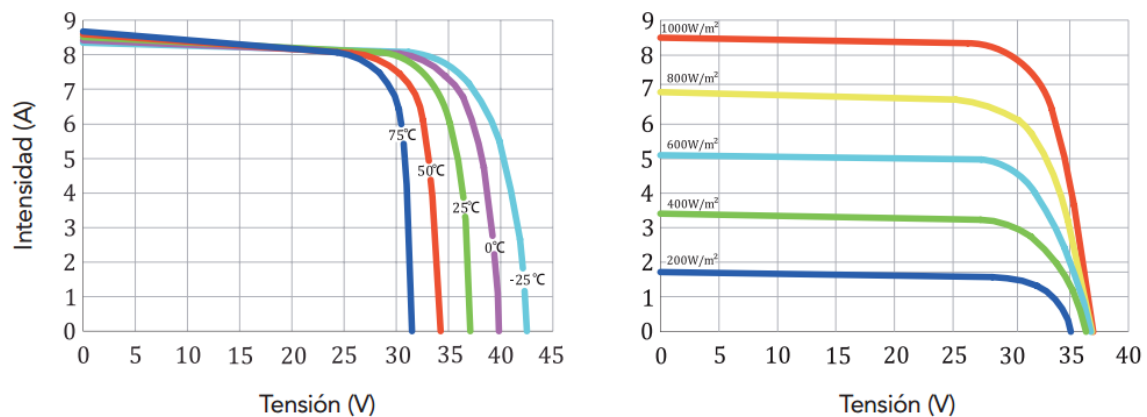


Figura 2.13: Curva I-V: Izquierda variando la temperatura y derecha variando la irradiación (Fuente: [www.atersa.com](http://www.atersa.com)).

### 2.2.2. SOPORTE

El soporte es el conjunto estructuras que sujeta los módulos fotovoltaicos. Asegura su posición y es el encargado de proveer al generador fotovoltaico de la resistencia a la acción de los elementos climatológicos.

El soporte no solo debe soportar el peso de los módulos fotovoltaicos, sino que también deberá soportar las sobrecargas debidas al viento y la nieve.

El soporte, tanto la estructura como el sistema de fijación de los módulos fotovoltaicos, permitirá las dilataciones térmicas sin transmitir cargas de manera que no afecte a los propios módulos fotovoltaicos. La estructura, el sistema de fijación y los módulos fotovoltaicos deberán ser compatibles galvánicamente. Además las estructuras deben estar conectadas a tierra para evitar que acumulen cargas electrostáticas y para evitar posibles problemas en caso de tormenta.

Los módulos fotovoltaicos tienen un mayor rendimiento cuando la radiación solar es perpendicular a ellos, y el soporte es el encargado de conseguir que los módulos fotovoltaicos estén situados perpendiculares a la radiación solar.

El Sol varía su posición a lo largo del día y del año; los puntos del horizonte por donde sale (orto) y se pone (ocaso) del Sol varían constantemente en el transcurso de un año.

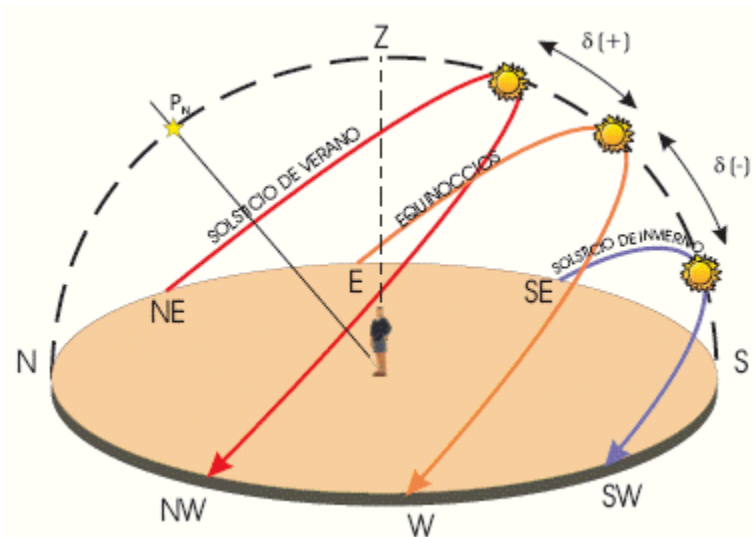


Figura 2.14: El movimiento aparente del Sol en la esfera celeste (Fuente: <http://www.astrorred.org>).

#### 2.2.2.1. TIPOS DE SOPORTES

Por la necesidad de que los paneles fotovoltaicos estén el máximo tiempo posible perpendicular a la radiación solar surgen dos tipos de soportes; fijo y seguidor solar.

### Fijo:

Es un soporte estático, por lo que no podrá situar los módulos fotovoltaicos perpendiculares a la radiación solar a lo largo del tiempo. Por lo que se diseñan para maximizar la perpendicularidad de la radiación solar durante todo el año, a no ser que sea una instalación estacionaria.

La posición de los módulos fotovoltaicos es la suma de su orientación y su inclinación. La orientación depende únicamente del hemisferio, siendo la orientación óptima 0° Sur si estamos en el hemisferio Norte y 0° Norte si estamos en el hemisferio Sur.

La inclinación depende de la latitud y se considera que la inclinación óptima para un soporte fijo es aquella que consigue la perpendicularidad de la superficie de los módulos con la radiación solar al mediodía del solsticio de invierno, 21 de diciembre. Como aproximación se suele aceptar un valor que sea 10° menor a la latitud del emplazamiento de la instalación.

### Seguidor solar:

Es un soporte móvil. Los seguidores solares disponen de uniones móviles en el cabezal y motores eléctricos para desplazarlos, alimentados por los propios módulos o por una red eléctrica exterior. Los seguidores mueven los módulos que soportan en función de la posición solar, tanto en un eje (monoaxial), como en dos ejes (biaxiales), según el tipo.

Este tipo de soporte aumenta considerablemente la producción de la instalación, hasta un 35% pero también es un soporte más caro.

El seguidor de dos ejes dispone de dos grados de libertad. El eje ortogonal a los paneles fotovoltaicos se alinea perfectamente y en tiempo real a los rayos solares, pero la complejidad constructiva es mayor.

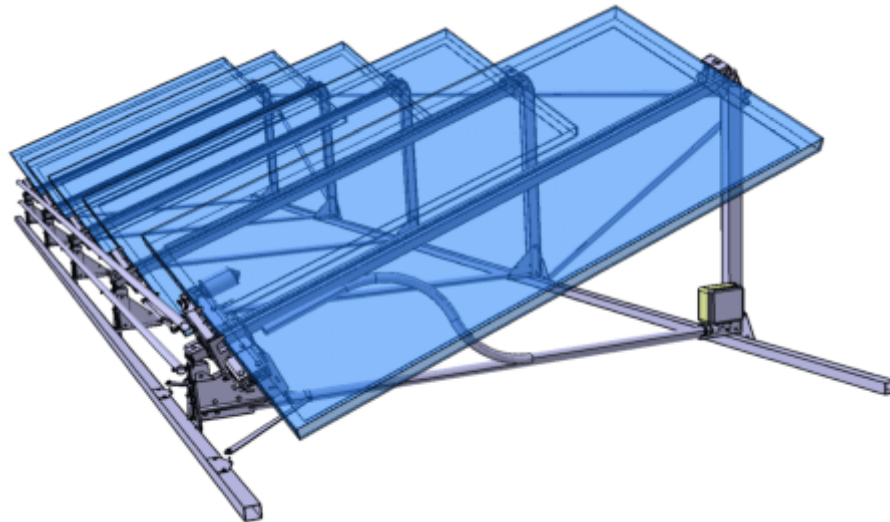


**Figura 2.15:** De izquierda a derecha: azimutal y biaxial (Fuente: <http://www.motovario.com>).

Los seguidores de un eje pueden ser:

- Seguidores inclinados (vertical): El eje de rotación es este-oeste
- Seguidores giratorios (horizontal): El eje de rotación es norte-sur

- Seguidores azimutales: Disponen de un grado de libertad de movimiento, con eje vertical zenit-nadir
- Seguidores de eje polar: Se mueven sobre un único eje, inclinado respecto del suelo, prácticamente paralelo al eje de rotación terrestre, garantizando la máxima eficiencia que se puede obtener con un solo eje de rotación.



**Figura 2.16: Soporte seguidor de un eje polar (Fuente: <http://www.seguidor-solar-optintop.es>).**

### 2.2.2.2. EMPLAZAMIENTO DEL SOPORTE

Según donde se instale el soporte se pueden clasificar como:

#### Suelo:

Es forma más tradicional, robusta y barata de instalar los módulos fotovoltaicos. Es un método de gran facilidad en montaje de la estructura y de los paneles, pues se trabaja a nivel del suelo. Al estar a ras del suelo sufre menos los efectos del viento. En contra es peor en zonas donde haya nieve, pues ésta podría tapar parcialmente los módulos fotovoltaicos, pero este inconveniente tiene fácil solución instalando unos apoyos que eleve la estructura.

Este tipo de soporte admite los seguidores de un eje y la opción de tener varios ángulos de inclinación que podrían cambiarse manualmente. Es el sistema idóneo para los grandes sistemas fotovoltaicos.

#### Poste:

Es un sistema que en principio únicamente se utilizaba en las instalaciones que ya disponían de un mástil, como por ejemplo las antenas o farolas, que podrían hacer las



funciones de mástil. Con la aparición de los seguidores solares este tipo de soporte ha cogido fuerza, pues es el idóneo cuando se instalan seguidores solares.

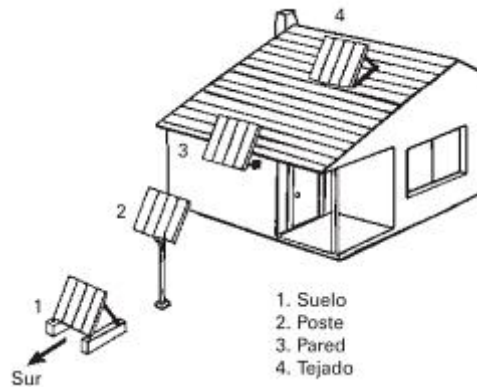
Como ventaja sobre el soporte en suelo tiene que es más difícil que tenga sombras parciales, pero en contra las tareas de mantenimiento o limpieza se complican a no estar accesibles los módulos fotovoltaicos.

### Pared:

Sistema que se utiliza principalmente en instalaciones aisladas o dedicadas al autoconsumo, pues tiene la limitación del espacio. Se acopla la estructura a una pared del edificio, por lo que debería tener una pared con orientación Sur (en el hemisferio Norte), porque de no ser así, la estructura tendría que tener un cierto ángulo, para no perder producción de energía, lo cual aparte de incrementar el precio haría la instalación más susceptible de sufrir daños por la acción del viento.

### Tejado:

El sistema es básicamente el mismo que el de suelo, salvo por la diferencia de que los anclajes serán distintos, más si el tejado es inclinado. Este sistema presenta la ventaja que ya tiene una orientación y posiblemente una inclinación, por lo que si es orientación sur y con una inclinación de  $\pm 35^\circ$  (para el caso de España) nos facilitaría mucho el montaje, de no ser así se convertiría en un inconveniente.



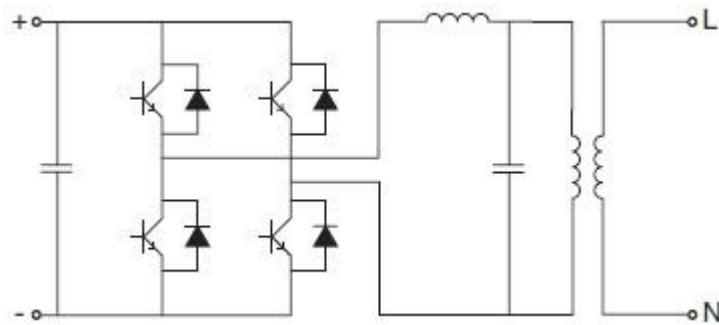
**Figura 2.17: Diferentes posibilidades de ubicación de los paneles fotovoltaicos (Fuente: Técnicas y Procesos en las Instalaciones Singulares en los Edificios)**

### 2.2.3. INVERSOR

El inversor es un convertidor de corriente continua a corriente alterna (DC/AC), es un dispositivo electrónico de potencia encargado de convertir la corriente continua proveniente de los generadores fotovoltaicos en corriente alterna y controla la calidad de la energía destinada a la red. Además sincroniza la frecuencia de la corriente inyectada con

la de la red, adaptándola a las condiciones requeridas según el tipo de carga, garantizando así la calidad de la energía vertida en la instalación eléctrica de la vivienda.

En la siguiente figura se muestra el esquema de conexión de un inversor. Los transistores, utilizados como conmutadores estáticos, se controlan mediante una señal de apertura-cierre que en su forma más simple proporcionaría una onda de salida cuadrada.



**Figura 2.18: Esquema del principio de funcionamiento de un inversor monofásico (Fuente: <http://renewablengineering.blogspot.com.es>)**

Un inversor perfecto tiene la forma de la señal de salida alterna una senoide, que en el caso de nuestro país debe tener una frecuencia de 50 Hz. Pero esto no siempre es así y en numerosas ocasiones nuestro inversor no genera una señal perfectamente sinusoidal. Existen tres tipos en función de las características de la corriente en su salida:

- De onda cuadrada: Tecnología muy sencilla, son los más baratos, pero sin ninguna regulación de la tensión de salida (varia con la carga y con la tensión de salida). Posee riesgo de crear armónicos impares. Sirven para instalaciones con receptores comunes (iluminación, electrodomésticos, Tv...), no son aptos para motores de inducción.
- De onda senoidal modificada (quasi-sinusoidal): Tiene un mayor rendimiento y menos armónicos que el de onda cuadrada, también más caros. Regulación precisa de la tensión, simulan una onda senoidal pura pero no llega a serlo.
- De onda senoidal pura: Rendimientos altos, idóneos para todo tipo de instalaciones. Tienen una electrónica más elaborada, consiguen una onda senoidal pura.

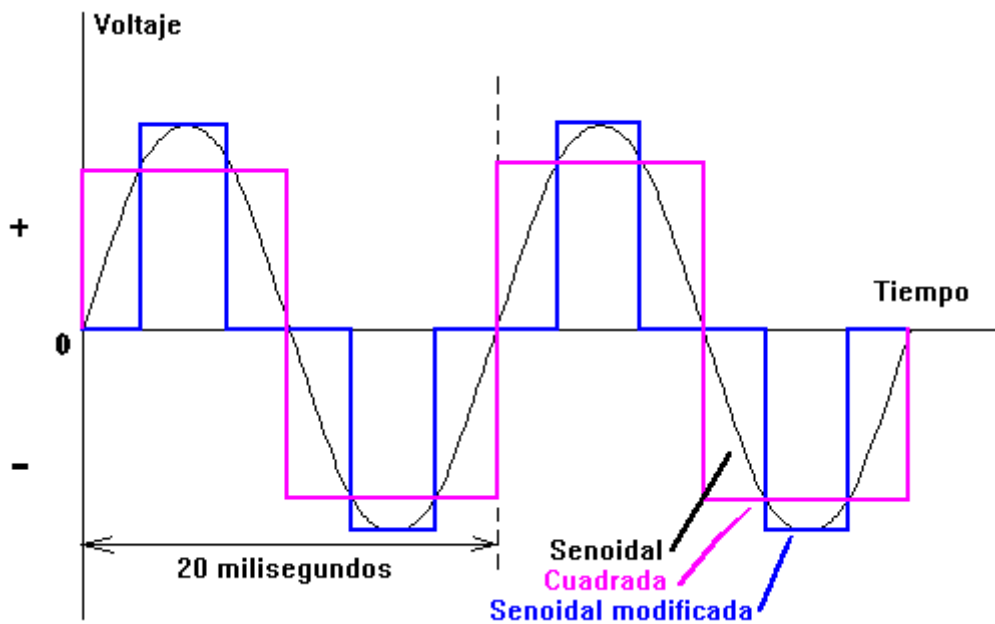


Figura 2.19: Representación de los tres tipos de onda (Fuente: <http://www.acpasion.net>)

En el caso de los inversores que inyecten la corriente a la red eléctrica deben generar una onda lo más sinusoidal posible y que debe estar sincronizada con la señal de red, además de presentar su mismo valor de voltaje eficaz. En caso contrario se producirían enormes pérdidas de energía en el momento de inyectar la corriente eléctrica producida a la red.

Los inversores también se pueden clasificar según el método de generación de la onda:

- De pulso único por semiciclo (estáticos) Son los más sencillos y en ellos se genera un único pulso en cada semiperiodo de la tensión de salida. Un pulso positivo en un semiperiodo y un pulso negativo en el otro semiperiodo. Una señal cuadrada puede convertirse en sinusoidal mediante filtros de potencia, aunque en los inversores monofásicos el coste del filtro es casi el mismo que el del inversor.
- De pulso múltiple: En ellos se genera serie sucesiva de pulsos de igual voltaje pero de duración variable, cuya suma establece el valor del voltaje requerido en cada zona de la senoide deseada, para nuestra corriente alterna. Las componentes armónicas de la tensión de salida van a incluir un primer armónico, denominado armónico fundamental, de baja frecuencia y armónicos de alta frecuencia. El armónico fundamental tiene la frecuencia que se desea obtener en la salida, mientras que los armónicos de alta frecuencia son de frecuencias aproximadamente múltiplos de la frecuencia de los pulsos. El tener armónicos implica, para el filtrado de los armónicos más próximos al fundamental, del uso de condensadores y bobinas que reducirán el rendimiento del sistema, así como dispositivos de conexión desconexión de los mismos. Aumentando la frecuencia de los pulsos conseguimos armónicos más

alejados de la frecuencia principal, que son más fáciles de filtrar y con menos pérdidas de potencia.

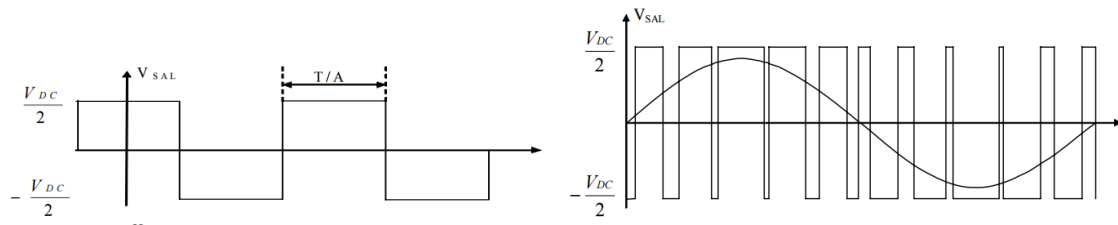


Figura 2.20: A la izquierda, pulso único y a la derecha, pulso múltiple (Fuente: <http://www.cartagena99.com>)

Existen dos tipos de inversores según la corriente que suministran, monofásicos (generalmente usados para baja potencia) y trifásicos (fundamentalmente para conexión a red media y alta potencia).

El inversor, además de proporcionarnos una frecuencia de voltaje correcta, tiene que regular el valor de la tensión de salida, para que coincida con determinados valores de trabajo estándar. Esto se puede conseguir de las siguientes formas:

- Regulando la tensión antes del inversor mediante un inversor de corriente continua a corriente continua.
- Regulando la tensión dentro del propio inversor variando el ángulo de fase entre voltaje e intensidad o mediante su sistema de control, que puede ser similar a un inversor de corriente continua a corriente continua.
- Regulando a la salida del inversor mediante un auto-transformador variable, que ajusta el voltaje de salida en alterna.
- Regulando el ancho de los pulsos, sistema que se denomina de modulación de ancho de pulso (PWM).

El inversor puede funcionar tanto como fuente de tensión (VSI), como fuente de corriente (CSI).

- Fuente de tensión: El inversor fija la tensión y esta se mantiene constante aunque varíe la carga. No tiene dependencia de la carga para poder funcionar, pero deben ser protegidos contra cortocircuitos.
- Fuente de corriente: El inversor fija la corriente y esta se mantiene constante aunque varíe la carga. Pueden soportar cortocircuitos a la salida o unas demandas puntuales muy altas, sin por ello verse dañado. Por el contrario el inversor tiene una gran dependencia de la carga para un correcto funcionamiento y necesitan en todo momento una carga mínima.

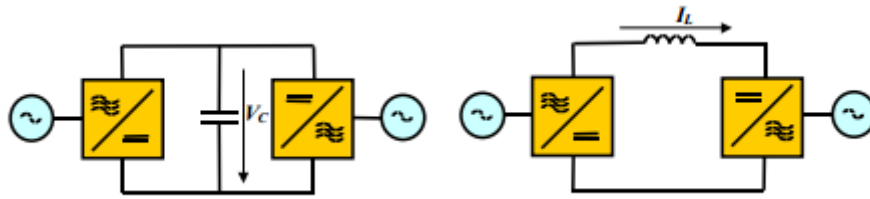


Figura 2.21: A la izquierda, inversor VSI y a la derecha, inversor CSI (Fuente: <http://www.gte.us.es>)

### 2.2.3.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS INVERSORES

Las principales características de los inversores son:

#### Tensión eficaz (VRMS):

Es la diferencia de potencial promedio entre el polo activo y el polo neutro, a la salida del inversor, independientemente del signo de la diferencia de potencial.

#### Potencia nominal:

Es la potencia máxima (especificada por el fabricante) que el inversor es capaz de entregar de forma continua. Esta potencia nominal considera el voltaje y corriente suministrados, pero no tiene en cuenta el desfase que puede haber entre ellos. Se mide en voltiamperios (VA).

#### Potencia activa:

Es la potencia real que suministra el inversor, considerando el desfase entre tensión y corriente. Se mide en vatios (W).

#### Factor de potencia:

Es relación entre la potencia activa y la potencia aparente a la salida del inversor, también es conocido como Coseno de phi ( $\cos\phi$ ), que cuantifica el desfase entre las ondas de tensión y de corriente inyectadas en la red.

#### Autoconsumo del inversor:

Es el tanto por ciento de potencia consumida comparada con la potencia nominal de salida en condiciones normales.

#### Capacidad de sobrecarga:

Es la posibilidad que tiene el inversor para entregar mayor potencia que la nominal durante cortos periodos de tiempo.

#### Rendimiento de transformación:

Son las pérdidas que tienen lugar durante la transformación de corriente continua a corriente alterna.

Rendimiento del seguimiento:

Para convertir siempre la máxima potencia en el inversor, éste debe trabajar en el punto óptimo de trabajo y seguirlo de forma automática (seguidor de punto de máxima potencia). El rendimiento de ajuste es el que indica lo que se ajusta el inversor al punto de máxima potencia en cada situación.

Rendimiento estático:

Es la suma del rendimiento de transformación y de seguimiento. Es el que proporciona el fabricante del inversor. El rendimiento estático se puede calcular para diferentes niveles de potencia a la salida del inversor. El valor de rendimiento que suele aparecer en las especificaciones técnicas del fabricante, es el correspondiente al caso de trabajar con la potencia nominal del inversor. Las curvas de rendimiento son válidas para una determinada temperatura del inversor y dependen de la tensión de entrada.

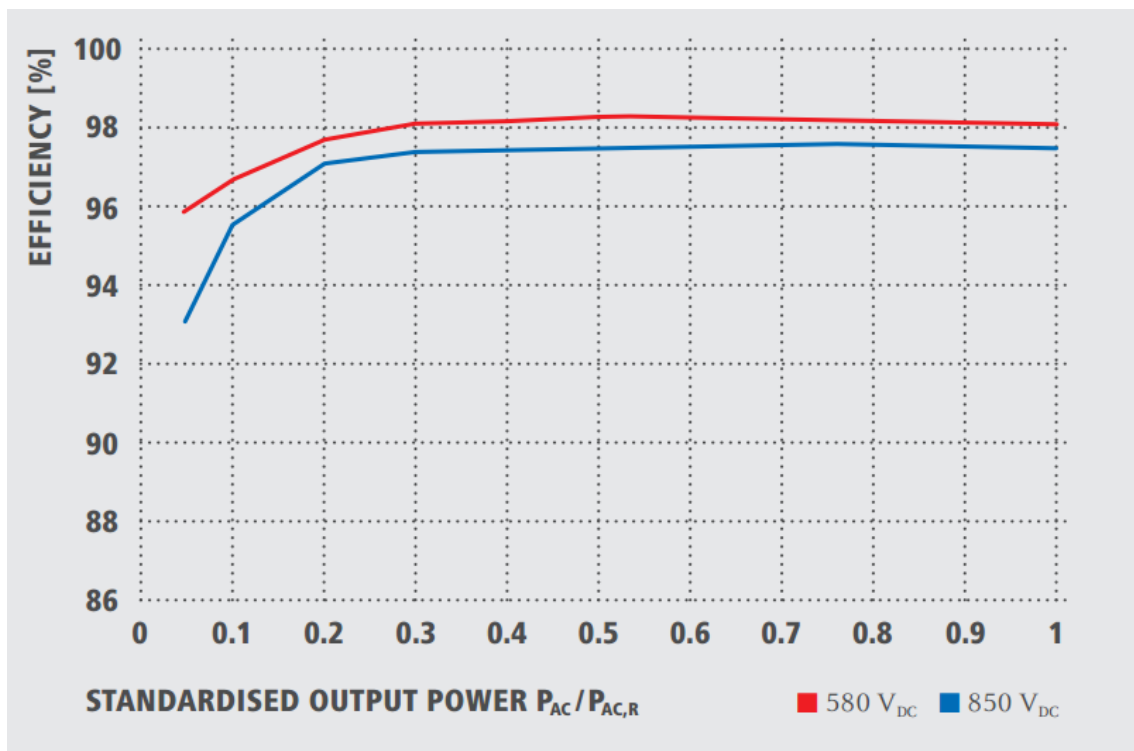


Figura 2.22: Curva de rendimiento de un inversor (Fuente: <http://www.fronius.com>)

Eurorrendimeinto:

Es un rendimiento dinámico referente a una climatología europea ponderada, sirve para comparar los diferentes inversores en relación a su rendimiento de manera sencilla.

Simplificando, el rendimiento del inversor es la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada al inversor. Para que este rendimiento sea real hay que considerar como parte del inversor los sistemas de filtrado, protecciones y transformadores auxiliares.

En las condiciones óptimas y trabajando a plena carga, los inversores pueden alcanzar rendimientos por encima del 95%. Es por esto que es recomendable que la potencia del generador sea entre 1,1 y 1,2 veces la potencia nominal del inversor, de esta forma el inversor funcionará la mayor parte del tiempo por encima del 90% de su potencia nominal.

Las pérdidas del inversor se producen en:

- El proceso de conmutación, para producir la onda sinusoidal o similar.
- En los elementos adicionales necesarios para obtener una onda de unas características de frecuencia y tensión adecuadas como transformadores, filtros, condensadores etc.
- Los inversores, cuando actúan como fuente de tensión, tienen un rendimiento mayor a plena carga que cuando trabajan en otras condiciones.
- El rendimiento de un inversor es mayor cuando la tensión continua de entrada crece.

Según el principio de funcionamiento de los inversores de conexión a la red se clasifican guiados por la red (conmutados) o autoguiados (autoconmutados):

### Conmutados:

Utiliza como principio básico un puente entre tiristores. Hoy en día los inversores que se utilizan en grandes instalaciones fotovoltaicas se basan en esta tecnología, debido al amplio rango de potencia que ofrece, siendo su oferta menor para inversores monofásicos de poca potencia (< 5 kW).

### Autoconmutados:

Se utiliza como principio básico un puente de materiales semiconductores que se pueden conectar y desconectar. Posee un bajo contenido armónico y tiene una protección inherente contra sobrecorriente. En función de la potencia del inversor y del nivel de tensión de funcionamiento se emplearían los siguientes tipos de semiconductores:

- Transistores bipolares.
- MOSFET: Transistores de efecto de potencia.
- GTO: Tiristores desconectables de hasta 1 kHz.
- IGBT: Transistores bipolares de puerta de aislada.



---

### 2.2.3.2. COMPOSICIÓN DEL INVERSOR

Un inversor está compuesto por las siguientes partes fundamentales:

#### Control principal:

En esta etapa está la generación de onda, así como las funciones adicionales relacionadas con la construcción de la forma de onda. También incluye todos los elementos de control general y una gran parte del sistema de protecciones.

#### Etapas de potencia:

Esta etapa puede ser única (de la potencia del inversor) o modular (unión de varias hasta obtener la potencia del inversor). La etapa de potencia modular en caso de fallar alguna de las etapas en paralelo podría seguir funcionando, aunque de forma limitada.

La etapa de potencia debe incorporar un filtro de salida, que se encargará de filtrar la onda con un dispositivo L-C, del mismo modo evitará el rizado en la tensión de entrada.

#### Control de red:

Esta etapa es la interfaz entre el control principal y la red. Posee un circuito que sincroniza la forma de onda generada por la etapa de control principal y la etapa de potencia a la de la red eléctrica.

#### Seguidor del punto de máxima potencia:

Su función es acoplar la entrada del inversor a los valores de potencia variables que produce el generador, para obtener en todo momento la mayor cantidad de energía disponible, es decir, la máxima potencia.

#### Protecciones:

El inversor, aparte de disponer de las protecciones para el trabajo que realizan, deben cumplir con la normativa general de protección contra daños a personas y compatibilidad electromagnética. Es por ello que creemos que es lo suficientemente importante como para que le dediquemos a las protecciones el siguiente punto.

#### Monitorización de datos:

Esta etapa muestra los parámetros de entrada y salida del inversor en todo momento. Dependiendo del tipo de inversor tendrá más datos para visualizar, pero como mínimo suelen mostrar la tensión y corriente de entrada y salida, potencia suministrada y la frecuencia.

### 2.2.3.3. PROTECCIONES

Los inversores son equipos electrónicos que deben tener protecciones que garanticen la conexión a red, al aislamiento galvánico, la calidad de la energía suministrada y ante perturbaciones electromagnéticas. Estas protecciones principalmente son:

- Un sistema que desconecte en las horas nocturnas el inversor y/o cuando no haya condiciones suficientes de operación.
- Un sistema que cuando existan faltas de aislamiento en continua o en alterna, las detecte e interrumpa el funcionamiento.
- Un sistema que pare del inversor cuando se sobrecaliente.
- Un sistema que normalmente mediante varistores, proteja frente a descargas eléctricas tanto en la parte de continua como en la de alterna.
- Si debido a una sobretensión precedente del generador, generando una sobrecarga, el inversor se debe adaptar limitando la corriente absorbida. El diseño del inversor debe establecer esta protección.
- Si debido a un incremento de la demanda de corriente eléctrica o a un cortocircuito, se generando una sobre carga, el inversor debe disponer de fusibles a su salida que le protejan. Estos fusibles estarán calculados para que el inversor funcione adecuadamente dentro de sus parámetros nominales.
- Los inversores deben ir disponer de filtros que eliminen los armónicos que producen emisiones de radiofrecuencia que pueden interferir con las frecuencias utilizadas en los equipos de telecomunicaciones como radio, televisión o teléfono.
- En los casos que exista conexión a la red eléctrica, como es el caso del presente proyecto, el inversor debe ir equipado con las siguientes protecciones:
  - El inversor debe estar aislado de la red, normalmente esto se hace mediante un transformador situado entre la red y el inversor.
  - El inversor debe tener protecciones que interrumpan el funcionamiento del mismo en el caso de que el inversor comience a inyectar corriente continua a la red, para evitar problemas en la red.
  - El inversor debe de ir equipado con un sistema que únicamente permita su conexión a la red y al generador cuando detecte que este suministra suficiente potencia como para poder conectarse a la red de una forma correcta.
  - El inversor debe poseer un sistema de medida de las condiciones de la red; tensión de línea y frecuencia, para interrumpir la conexión en caso de que las condiciones no sean las apropiadas.
  - El inversor debe albergar un sistema de control que detecte el funcionamiento incorrecto de una fase y se desconecte en caso de producirse.

- El inversor deberá estar provisto de un sistema que si se produce una desconexión de la red eléctrica a la que inyecta interrumpa la tensión en la línea de distribución, evitar el efecto llamado "isla".

En todo caso el inversor deberá cumplir con las directivas comunitarias de Seguridad Eléctrica y compatibilidad electromagnética. Ambas serán certificadas por el fabricante, e incorporando protecciones frente a:

- Cortocircuitos en alterna.
- Tensión de red fuera de rango.
- Frecuencia de red fuera de rango.
- Sobretensiones mediante varistores o similares.
- Perturbaciones presentes en la red como micro cortes, pulsos, defectos de ciclos, ausencia y retorno de la red, etc.

El inversor no deberá entregar energía a una línea sin protecciones y debe ser capaz de desconectarse automáticamente cuando aparezca un fallo, tanto en él como en la red.

---

#### 2.2.3.4. METODOLOGÍA DE CONEXIÓN DE LOS INVERSORES

Para buscar soluciones técnicas optimas según las tipologías de los sistemas fotovoltaicos se han clasificado dos tipologías diferentes de inversores y de configuraciones de los mismos.

##### Inversor central:

Existe un único inversor para toda la instalación o para un conjunto de ramas (lo cual es más común). Los módulos fotovoltaicos se conectan en serie y se reúnen en una conexión en paralelo, por lo que necesitamos un elemento adicional; la caja de concentración.

Esta tipología ofrece simplicidad de instalación y mantenimiento, pero es especialmente sensible a las sombras parciales, pues hay un aprovechamiento óptimo de cada rama.

Es una tipología apropiada para campos solares uniformes en orientación, inclinación y sin sombras.

##### Inversor de rama (*String Inverter*):

Cada rama de módulos fotovoltaicos, constituida por varios módulos en serie, tiene un inversor.

Cada inversor de rama es una mini instalación independiente, por lo que los rendimientos serían mayores respecto al inversor central, al tener cada rama un dispositivo

de seguimiento de punto de máxima potencia, reduciendo las pérdidas debido a las sombras.

Es una tipología apropiada para sistemas fotovoltaicos con diferentes condiciones de radiación.

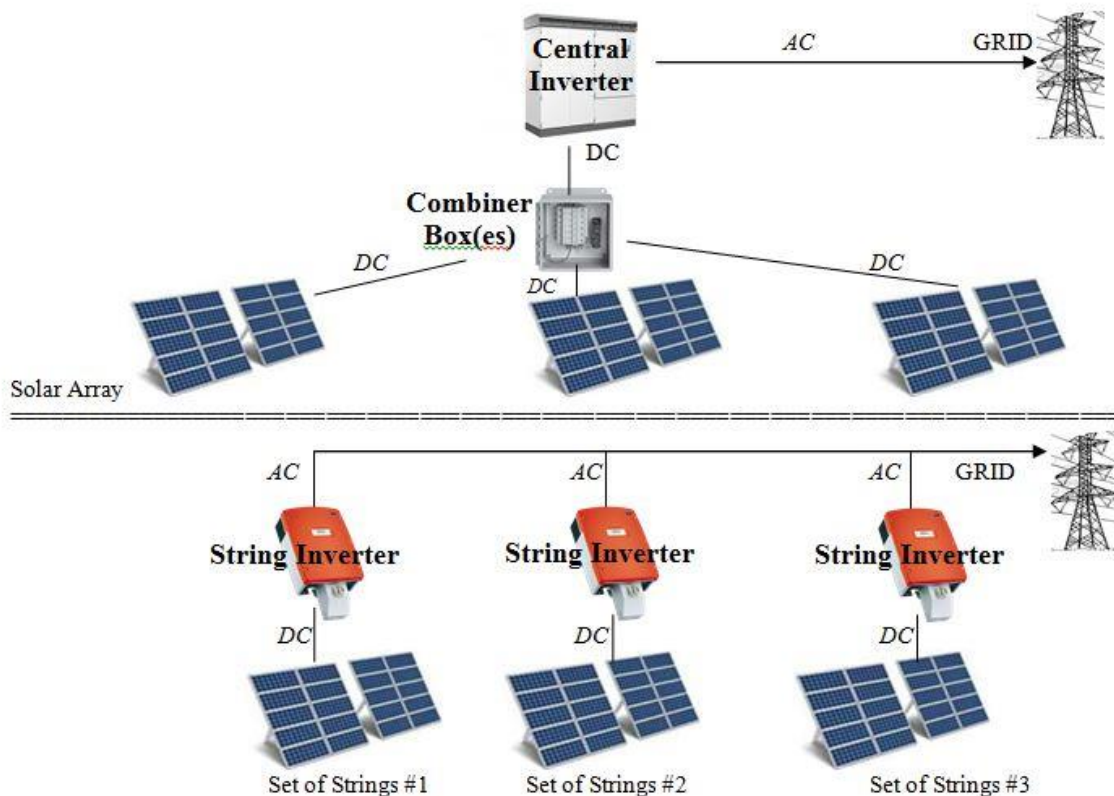


Figura 2.23: Representación de ambas metodologías de conexión (Fuente: <http://cenergypower.com>).

#### 2.2.4. CENTRO DE TRANSFORMACIÓN

A la salida de los inversores ya tenemos corriente alterna, pero los valores de tensión son de baja, por lo que no pueden ser inyectados a la red, por lo que subir la tensión y para ello se usa un transformador.

Un transformador es una máquina estática con dos bobinados de corriente alterna arrollados sobre un núcleo magnético. El bobinado por donde entra la corriente al transformador se llama primario y el bobinado por donde sale la corriente se llama secundario.

Un transformador es un dispositivo eléctrico capaz de variar la tensión en un circuito eléctrico, manteniendo la potencia constante. Será el encargado de adecuar el valor de tensión que recibe del inversor al valor de tensión, media o alta, a la red donde vamos a inyectar la energía eléctrica.

El transformador es elemento reversible; puede funcionar como elevador y reductor, únicamente cambiando la entrada del primario por el secundario.

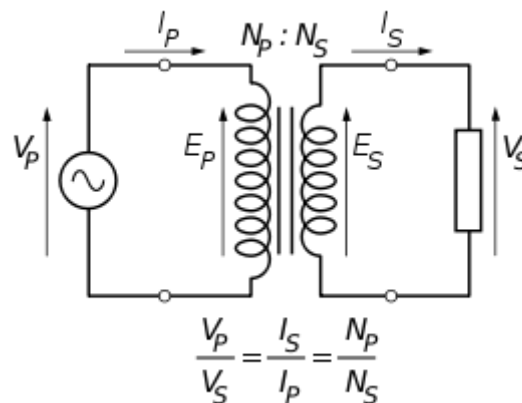


Figura 2.24: Representación esquemática de un transformador.

El transformador también protege la instalación, por un lado evita el paso de componentes de corriente continua a la red, asegurando la calidad del suministro, y por el otro la puesta a tierra del neutro del transformador garantiza la separación galvánica entre las zonas de corriente alterna y continua.

#### 2.2.4.1. PARÁMETROS DEL TRANSFORMADOR

Los principales parámetros de un transformador son:

##### Tensión primaria:

Es la tensión nominal del devanado primario.

##### Tensión secundaria:

Es la tensión nominal del devanado secundario.

##### Tensión máxima de servicio:

Es la tensión máxima a la que puede funcionar el transformador por un tiempo ilimitado.

Potencia nominal:

Es la potencia aparente máxima que puede suministrar el devanado secundario al transformador. La unidad de la potencia nominal es kVA.

Relación de transformación:

Es el cociente entre la tensión nominal primaria y secundaria.

Intensidad nominal primaria:

Es la corriente máxima a la que puede trabajar el devanado primario. Es la corriente que circula por el devanado primario cuando se está suministrando la potencia nominal del transformador.

Intensidad nominal secundaria:

Es igual que la intensidad nominal primaria, pero aplicada al devanado secundario.

Tensión de cortocircuito:

Es la tensión necesaria en el devanado primario para que circule por el devanado secundario la intensidad nominal secundaria, estando el devanado secundario cortocircuitado. Es un porcentaje.

Intensidad de cortocircuito:

Es el resultado de dividir el producto de la tensión nominal primaria con la intensidad nominal primaria entre la tensión de cortocircuito.

Caída de tensión:

Es la diferencia entre la tensión del primario y la del secundario referido al primario, ya que a efectos prácticos se considera la tensión del primario como constante.

---

#### 2.2.4.2. PÉRDIDAS EN EL TRANSFORMADOR

El transformador es un dispositivo muy eficiente, pero no tiene un rendimiento totalmente efectivo, por lo que tiene pérdidas, que son:

Pérdidas en el cobre:

La potencia que consume el transformador cuando el transformador a tensión nominal, cortocircuitando el secundario, es la potencia de cortocircuito ( $P_{cc}$ ). Esta potencia es la denominada pérdidas en el cobre a máxima potencia, ya que es la consumida por los arrollamientos cuando circula la intensidad nominal.

Índice de carga:

Es la relación entre la intensidad de trabajo y su valor nominal.

Pérdidas en el hierro:

Es la potencia absorbida por el transformador cuando trabaja en vacío.

Rendimiento:

El rendimiento es el cociente entre la potencia que el transformador suministra a la carga conectada en el secundario y la que se suministra al transformador. La potencia que se suministra al transformador es la que se suministra a la carga más las pérdidas.

### 2.3. NORMATIVA

A la hora de empezar cualquier proyecto se debe conocer la legislación y normativa aplicable ha dicho proyecto, es por ello que a continuación presentamos la legislación fotovoltaica:

- Real Decreto 1955/2000, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (RD 842/2002), ver las Instrucciones Complementarias, ITC 40 y la Nota de Interpretación Técnica de la equivalencia de la separación Galvánica de la Conexión de Instalaciones generadoras en Baja Tensión.
- Código Técnico de la Edificación (RD 314/2006).
- Real Decreto 647/2011, por el que se regula la actividad de gestor de cargas del sistema para la realización de servicios de recarga energética.
- Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción eléctrica de pequeña potencia.
- Real Decreto 1544/2011 sobre tarifas de acceso a productores, en régimen ordinario y especial.
- Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
- Orden IET/3586/2011, de 30 de diciembre, por la que se establecen los peajes de acceso a partir de 1 de enero de 2012 y las tarifas y primas de las instalaciones del régimen especial.
- Real Decreto-ley 1/2012, de 27 de enero, por el que se procede a la suspensión.
- de los procedimientos de pre asignación de retribución y a la supresión de los incentivos económicos para nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica



a partir de cogeneración, fuentes de energía renovables y residuos Real Decreto 1718/2012, de 28 de diciembre, por el que se determina el procedimiento para realizar la lectura y facturación de los suministros de energía en baja tensión con potencia contratada no superior a 15 kW.

- Real Decreto-ley 9/2013, de 12 de julio, por el que se adoptan medidas urgentes para garantizar la estabilidad financiera del sistema eléctrico.
- Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico.
- Real Decreto-ley 2/2013, de 1 de febrero, de medidas urgentes en el sistema eléctrico y en el sector financiero.
- Orden IET/221/2013, de 14 de febrero, por la que se establecen los peajes de acceso a partir de 1 de enero de 2013 y las tarifas y primas de las instalaciones del régimen especial.
- Orden HAP/703/2013, de 29 de abril, por la que se aprueba el modelo 583 «Impuesto sobre el valor de la producción de la energía eléctrica. Autoliquidación y Pagos Fraccionados», y se establece la forma y procedimiento para su presentación.

En España, la legislación debe de atenerse a las siguientes legislaciones o niveles: europea (Directivas), nacional (Leyes, Reales Decretos, etc.), Comunidades Autónomas, Municipales y Reglamentos de Red Eléctrica Española y de las Compañías de distribución.

Por otra parte, cuando no exista disposición normativa de obligado cumplimiento aplicable, se tendrán en cuenta los siguientes elementos:

- a) Normas técnicas nacionales de transposición de normas europeas no armonizadas
- b) Normas UNE
- c) Recomendaciones de la Comisión Europea
- d) Códigos de buenas prácticas
- e) El Estado actual de la Técnica

### 3. DISEÑO DE UN SFCR DE 1,5 MW

El proyecto consiste en estudio comparativo entre las dos categorías principales de inversores; central y *string*, para ello se ha tomado como base un SFCR de 1,5 MW emplazada en el mismo lugar y con el mismo número de módulos fotovoltaicos para las dos filosofías de inversores.

#### 3.1. ESPECIFICACIONES DEL SFCR

El SFCR del proyecto es una planta de generación fotovoltaica conectada a red eléctrica, cuyo propósito será suministrar los kWh generados a la Red de Distribución de Energía Eléctrica (RDEE) para obtener un rendimiento económico gracias a la venta al mercado eléctrico de la electricidad generada.

La planta se encuentra ubicada en el término municipal de San Vicente de la cabeza, provincia de Zamora, como se detalla en el siguiente punto.

La planta está constituida por módulos fotovoltaicos de 230 Wp, que unidos en serie y paralelo generan una potencia de 1,5 MW.

La etapa de conversión de corriente es la parte principal de estudio del proyecto y tendrá dos variantes; central y *string*.

- a) CENTRAL: Está formada por inversores de 460 kVA, de modo que la planta fotovoltaica se dividirá en subestaciones fotovoltaicas, de tal forma que las cargas estén repartidas equitativamente entre los inversores después de pasar por la caja de concentración.

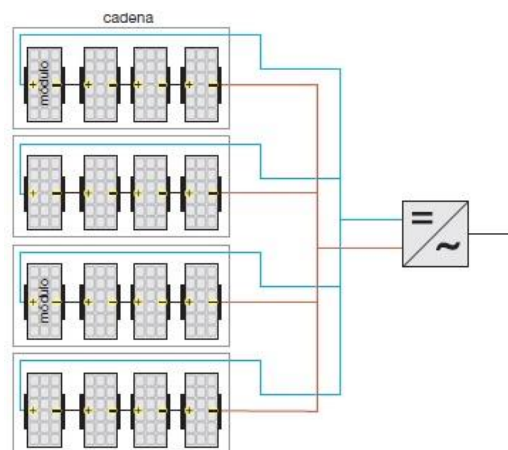


Figura 3.1: Representación unifilar de inversor central (Fuente: <http://renewablengineering.blogspot.com.es/>).

- b) STRING: Está formada por inversores *string* de 25 kVA, de modo a los inversores le llegan las diferentes ramas del generador fotovoltaico directamente.

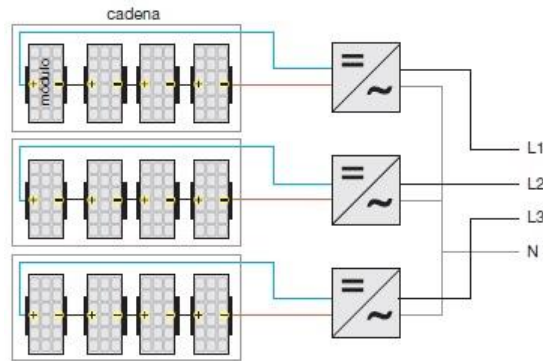
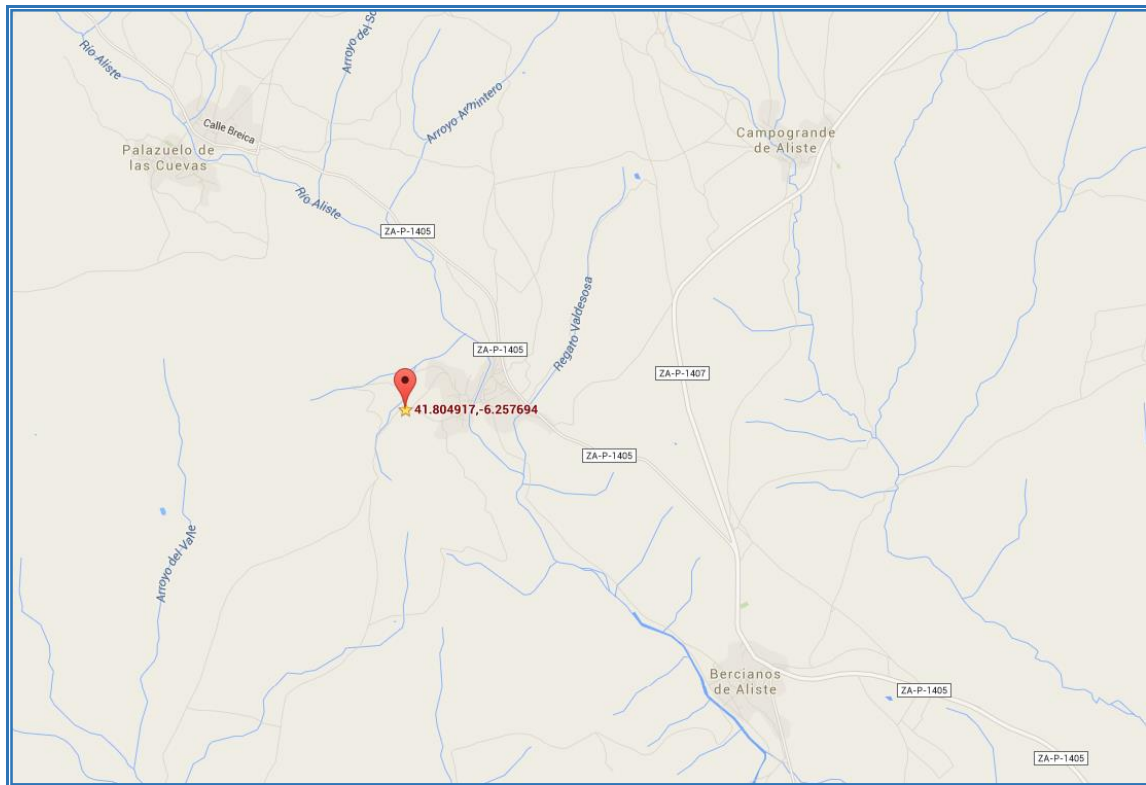


Figura 3.2: Representación unifilar de inversor *string* (Fuente: <http://renewablengineering.blogspot.com.es>).

En el proyecto no se ha incluido la etapa de transformación de baja a media tensión pues no es relevante para el objeto de estudio del mismo.

### 3.1.1. UBICACIÓN

La planta fotovoltaica está ubicada en el término municipal de San Vicente de la Cabeza, perteneciente a la provincia de Zamora (Castilla y León), en las coordenadas geográficas (grados decimales); Latitud: 41.804917N, Longitud: 6.257694W, según se indica en la figura 3.1.



**Figura 3.3: Emplazamiento de la planta fotovoltaica.**

La ubicación del terreno para la futura instalación de la planta fotovoltaica, viene determinado por varios factores. Entre ellos cabe destacar los que vendrán fijados por la latitud y climatología de la zona, que son los valores de irradiación solar, número de horas de sol y temperatura.

Estos son los factores intrínsecos para la generación de electricidad en los paneles fotovoltaicos. Pero no podemos olvidar que hay otros factores que determinan la viabilidad del proyecto, como son; la proximidad a la RDEE (punto de conexión), que existan carreteras e infraestructuras de servicios, la legislación fotovoltaica de la zona, la existencia de zonas protegidas, así como que el terreno no tenga sombras o sea muy abrupto.

La planta fotovoltaica está localizada en el polígono 25, parcelas 343-349 y 401-404 del término municipal San Vicente de la Cabeza, con una superficie total de 11.227 m<sup>2</sup> y una geometría irregular como se muestra en la Figura 3.2.

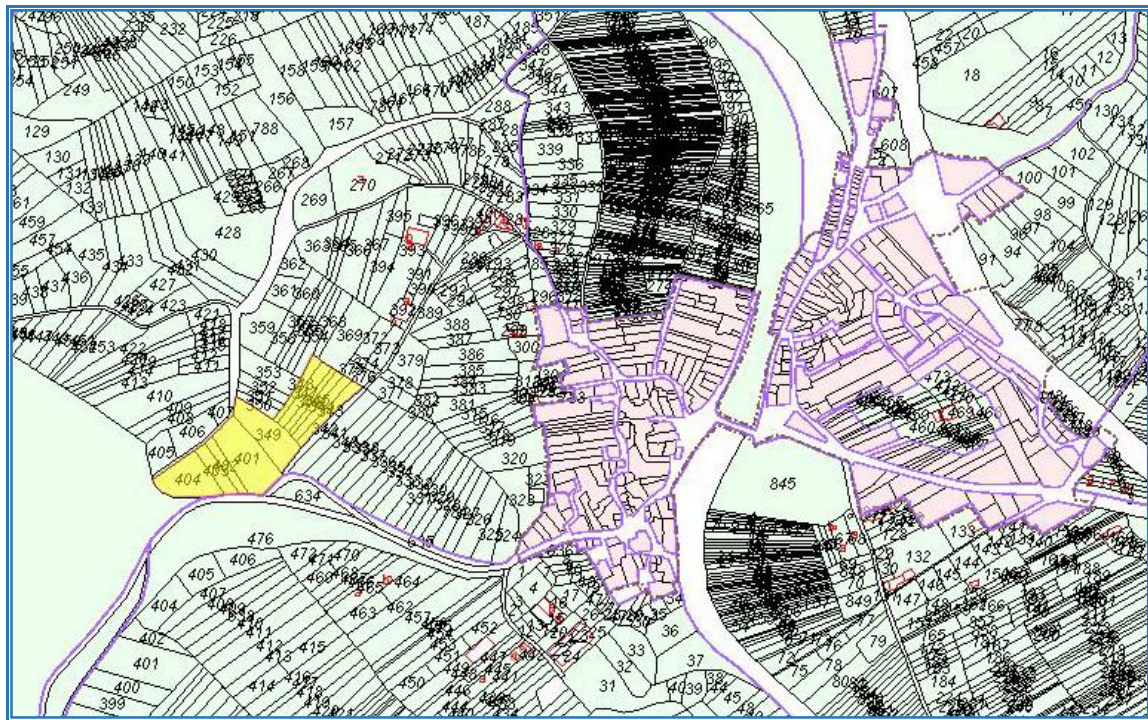


Figura 3.4: Ubicación de las parcelas usadas en el proyecto (Fuente: <http://www.catastro.meh.es>).

El emplazamiento de la planta fotovoltaica entre los años 1983 y 2004, salvo el viento que solo fue observado del 1983 al 1993, ha registrado unos valores medios, para las características meteorológicas que se muestran en la Tabla 3.1.

- (1) Irradiación sobre una superficie horizontal ( $\text{kWh/m}^2/\text{día}$ )
- (2) Temperatura del aire a 10 metros sobre la superficie de la tierra ( $^{\circ}\text{C}$ )
- (3) Días despejados (días)
- (4) Días nublados (días)
- (5) Precipitación ( $\text{mm}/\text{día}$ )
- (6) Horas con sol (horas)
- (7) Velocidad del viento a 50 metros sobre la superficie de la tierra ( $\text{m/s}$ )



| Mes        | (1)  | (2)   | (3) | (4) | (5)  | (6)  | (7)  |
|------------|------|-------|-----|-----|------|------|------|
| Enero      | 1,81 | 4,04  | 4   | 12  | 2,9  | 9,51 | 5,72 |
| Febrero    | 2,78 | 5,08  | 6   | 8   | 2,07 | 10,6 | 5,68 |
| Marzo      | 4,08 | 8,25  | 7   | 3   | 1,71 | 11,9 | 5,67 |
| Abril      | 4,97 | 10,3  | 5   | 0   | 2,08 | 13,3 | 5,37 |
| Mayo       | 6,03 | 14,65 | 3   | 0   | 2,14 | 14,5 | 4,88 |
| Junio      | 7,2  | 19,66 | 6   | 0   | 1,1  | 15,1 | 4,49 |
| Julio      | 7,4  | 22,18 | 10  | 0   | 0,66 | 14,8 | 4,72 |
| Agosto     | 6,53 | 21,69 | 9   | 0   | 0,79 | 13,8 | 4,58 |
| Septiembre | 4,84 | 18,33 | 7   | 0   | 1,61 | 12,5 | 4,48 |
| Octubre    | 2,94 | 13,23 | 5   | 0   | 2,83 | 11,1 | 4,84 |
| Noviembre  | 1,94 | 8,15  | 4   | 2   | 3,24 | 9,9  | 5,29 |
| Diciembre  | 1,52 | 5,35  | 4   | 7   | 3,26 | 9,21 | 5,62 |

Tabla 3.1: Datos meteorológicos medios mensuales (Fuente: <https://eosweb.larc.nasa.gov>).

Los valores de irradiación horizontal media usados para este proyecto han sido obtenidos de la página web del JOINT RESARCH CENTRE (JRC) de la Comisión Europea. Estos datos son un inventario del 2006 de siete diferentes agencias estatales e internacionales, gestionados por *Photovoltaic Geographical Information System* (PVGIS).

El objetivo de nuestro proyecto es el estudio comparativo entre los inversores de rama y el inversor central por ello no hemos buscado emplazar la planta fotovoltaica en el punto de mayor irradiación solar, ni en la menor, si no en punto de la geografía española en el cual estos valores de irradiación estén en la media nacional.

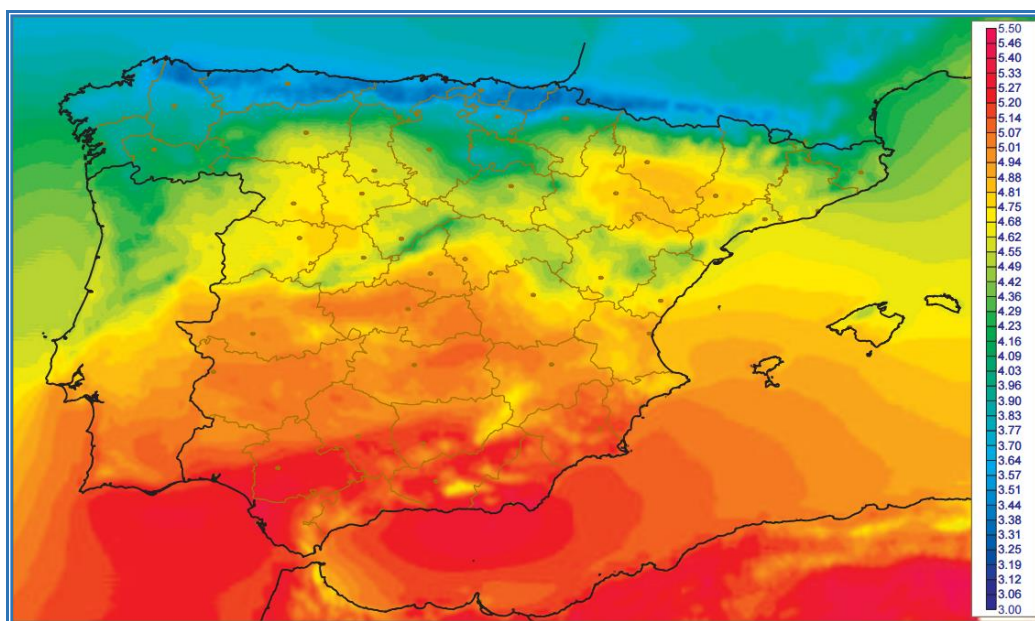


Figura 3.5: Mapa de irradiación horizontal global media (1983-2005) en kWh/m<sup>2</sup> (Fuente: <http://www.aemet.es>).

### 3.1.2. MÓDULO FOTOVOLTAICO

Los módulos fotovoltaicos son el elemento principal del generador fotovoltaico y el que nos definirá el resto de componentes de la planta fotovoltaica. Es el encargado, gracias a las células de silicio, de producir energía eléctrica a partir de la luz que incide sobre ellos.

Se ha elegido la tecnología policristalina pues es la tecnología que mejor relación eficiencia/costo-peso posee, frente al silicio monocristalino (mayor efectividad, costo y precio) o el silicio amorfo (menor efectividad, costo y precio).

El módulo elegido es el A-230P de ATERSA. Es un módulo con tecnología policristalina y de potencia pico 230 W. Se ha elegido este modelo ya que es policristalina y de una potencia adecuada para un SFCR de 1,5 MW, sobre todo para poder hacer un montaje con filosofía de inversor central y *string inverter*.

Dentro de los módulos policristalinos de 230 W se ha optado por el modelo de ATERSA ya que es un modelo con una alta eficiencia; 14,11% y una potencia de salida estable; tolerancia de potencia de  $\pm 3\%$ . Además cuenta con la ventaja de ser un producto nacional por lo que se eliminan los gastos de importación/aduana y asegura un plazo de entrega menor, así como un mejor servicio técnico.

Las principales del módulo A-230P GSE de ATERSA son:

| A-230P GSE (ATERSA)               |                                |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| FÍSICAS                           |                                |
| Dimensiones ( $\pm 2\text{mm}$ )  | 1,638 x 995 x 40 mm            |
| Peso                              | 18,7 kg                        |
| Máx. carga estática, frontal      | 5.400 Pa                       |
| Máx. carga estática, posterior    | 2.400 Pa                       |
| Cubierta frontal                  | Cristal templado (3,2 mm)      |
| Marco                             | Aleación de aluminio anodizado |
| Caja de conexiones                | IP65 / 3 diodos                |
| Cable                             | 1.000 mm (4 mm <sup>2</sup> )  |
| Tipo de células                   | Policristalina                 |
| Nº de células                     | 60 (6 x 10)                    |
| Dimensión células                 | 156 x 156 mm                   |
| ELÉCTRICAS (STC)                  |                                |
| Potencia Máxima (Pmax)            | 230 W                          |
| Tensión Máxima Potencia (Vmp)     | 29,49 V                        |
| Corriente Máxima Potencia (Imp)   | 7,81 A                         |
| Tensión de Circuito Abierto (Voc) | 36,58 V                        |
| Corriente de Cortocircuito (Isc)  | 8,36 A                         |
| Corriente máxima inversa (Ig)     | 15 A                           |
| TONC                              | 47 $\pm$ 2 °C                  |

Tabla 3.2: Resumen de las características principales del módulo fotovoltaico.



Características medidas en STC, definidas como; Irradiación de  $1.000 \text{ Wm}^2$ , espectro Am 1,5 G y temperatura  $25^\circ\text{C}$  (no temperatura ambiente).

Características medidas en TONC, definidas como; Irradiación de  $800 \text{ Wm}^2$ , espectro Am 1,5 G, temperatura ambiente  $20^\circ\text{C}$  y velocidad del viento  $1 \text{ m/s}$ .

---

### 3.1.2.1. GENERADOR FOTOVOLTAICO

El generador fotovoltaico es el conjunto de elementos necesarios para generar energía eléctrica a partir de la energía solar.

El principal componente es el modulo fotovoltaico, pero también son necesarios otros como; caja de concentración, protecciones contra corrientes inversas, descargador de sobretensiones,... todo ellos variaran en función de si optamos por un inversor central o por los *string inverter* por lo que no profundizaremos en ellos de momento.

La cantidad de módulos, así como su disposición, del generador fotovoltaico se calcaran en el punto cuatro del proyecto.

---

### 3.1.3. CONVERSIÓN DE CORRIENTE

La elección del inversor o inversores de conexión a red viene determinado por la potencia pico del SFCR que debe gestionar. El tamaño del inversor debe ser entorno a un valor de 0,8 a 0,9 de la potencia pico del generador fotovoltaico. Este valor tiene en cuenta la pérdida de potencia de los módulos fotovoltaicos en condiciones reales de funcionamiento y la eficiencia del inversor. Es por esto que el inversor está equipado con una limitación automática de la potencia suministrada para solventar situaciones en las que la potencia generada es mayor de lo normal.

Para este proyecto vamos a usar dos topologías de inversor, por lo que tendremos dos configuraciones bien diferenciadas para la conversión de corriente.

A la hora de elegir los dos tipos de inversores se ha decidido que ambos sean de la misma empresa para que la diferencia de rendimiento y/o precio no venga marcada por la disparidad del suministrador, si no por la elección de una u otra tecnología de inversor de conexión a red.

Para decantarnos por una empresa el primer paso es que disponga tanto de inversor central como de *string inverter*, requisito que cumplen las principales empresas; ABB, FRONIUS, Ingeteam, SMA, etc.

De las grandes empresas nos hemos decantado por FRONIUS ya que es una empresa con una larga trayectoria fabricando inversores con tecnología propia, desde el 1993.

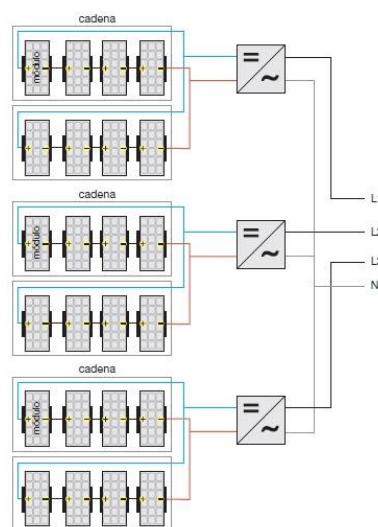
También es un valor añadido que la empresa tenga otras divisiones puesto que en el último año empresas dedicadas solo a la producción de inversores, como SolarMax o Sunways, han tenido que cerrar lo que conlleva que se han perdido las garantías del producto.

Técnicamente FRONIUS tiene en el mercado unos inversores con un alto rendimiento y un sistema de ventilación innovador con hasta tres ventiladores con doble ventilación en función de la temperatura, además se desmarca de la competencia con una garantía de fábrica por siete años.

### 3.1.3.1. INVERSOR CENTRAL

Para la configuración de inversor central, en la que solo existe un inversor para todo el generador fotovoltaico o para un conjunto de ramas.

Aunque en el mercado hay inversores de 1,5 MW no se ha optado por un único inversor que controlase toda la instalación, de forma que todas las cadenas, constituidas por los módulos conectados en serie, están concentradas en una conexión en paralelo. Aunque esta solución ofrece una simplicidad de instalación y bajos costes de mantenimiento, es una tipología muy sensible a las sombras parciales limitando el aprovechamiento óptimo del generador fotovoltaico, esto unido a que el fallo del inversor único provoca el paro de la producción de toda la SFCR nos ha llevado a desestimar esta opción y sin abandonar la tipología de inversor central, por lo que hemos optado por un inversor de una potencia menor que la de la del SFCR para un inversor para varias ramas y dividir el generador fotovoltaico en varias subestaciones.



**Figura 3.6: Representación unifilar de inversor para varias ramas (Fuente: <http://renewablengineering.blogspot.com.es>).**

En este proyecto en la configuración de inversor central se optado por usar varios inversores y se ha elegido un inversor de 460 kVA, de modo que la planta fotovoltaica se dividirá en subestaciones fotovoltaicas con un número de módulos fotovoltaicos por subestación, de tal forma que las cargas estén repartidas equitativamente entre los inversores que componen el SFCR.

Cada subinstalación es conectada eléctricamente a través de las cajas de agrupación de ramas y se divide en grupos de módulos conectados en serie o *strings* que se conectan en paralelo para formar una matriz o *array*.

Dado que se ha descartado una configuración de inversor único, para la configuración de inversor central, se ha optado por instalar varios inversores de menor potencia y el inversor elegido es el Fronius Agilo TL 460.0-3.

El Fronius Agilo TL 460.0-3 viene con 6 entradas de CC lo cual es una ventaja sobre la mayoría de los inversores de similar potencia al facilitarnos la conexión de entrada y reducir el número y tamaño de las cajas de concentración. Además el Fronius Agilo TL, es la única serie de inversores en su rango de potencia que puede ser instalado, puesto en servicio y mantenido íntegramente por la empresa instaladora sin necesidad de la intervención de la empresa fabricante; Fronius.

El Fronius Agilo TL 460.0-3 es un inversor compacto y se ha optado por la versión *Outdoor*, que con las mismas prestaciones que el *Indoor* nos permite instalarlo en exteriores, por lo que nos ahorra el coste de la caseta.

| Fronius Agilo TL 460.0-3                                     |                                |
|--|--------------------------------|
| DATOS DE ENTRADA   |                                |
| Máxima corriente de entrada ( $I_{dc}$ máx.)                 | 782 A                          |
| Mínima tensión de entrada ( $U_{dc}$ mín.)                   | 600 V                          |
| Máxima corriente de cortocircuito por serie FV               | 1.173 A                        |
| Tensión CC mínima de puesta en servicio ( $U_{dc}$ arranque) | 625 V                          |
| Tensión de entrada nominal ( $U_{dc}$ mín.)                  | 600 V                          |
| Máxima tensión de entrada ( $U_{dc}$ máx.)                   | 1.000 V                        |
| Rango de tensión MPP ( $U_{mpp}$ mín. - $U_{mpp}$ máx.)      | 600 - 820 V                    |
| Número de seguidores MPP                                     | 1                              |
| Número de conexiones CC                                      | 6 (200 A máx. por conexión CC) |
| DATOS DE SALIDA  |                                |
| Potencia nominal CA ( $P_{ac,r}$ )                           | 460 kW                         |
| Máxima potencia de salida (hasta 35°C temperatura ambiental) | 460 kVA                        |
| Máxima corriente de salida ( $I_{ac}$ máx.)                  | 664,0 A                        |
| Acoplamiento a la red (rango de tensión)                     | 3 - 400 V (+15 % / -25 %)      |
| Frecuencia (rango de frecuencia)                             | 50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)     |
| Coeficiente de distorsión no lineal (50 Hz / 60 Hz)          | < 1,8 % / < 3,0 %              |
| Factor de potencia ( $\cos \varphi_{ac,r}$ )                 | 0,8/1 ind./cap.                |

| DATOS GENERALES   |                          |
|---|--------------------------|
| Dimensiones (altura x anchura x profundidad)                    | 2.230 x 1.150 x 1.055 mm |
| Peso  | 660 kg                   |
| Tipo de protección Agilo TL Outdoor (compartimento electrónico) | IP 44 (IP 55)            |
| Margen de temperatura ambiente                                  | -20°C / +50°C            |
| Humedad de aire admisible                                       | 95%                      |
| RENDIMIENTO   |                          |
| Máximo rendimiento  | 98,60%                   |
| Rendimiento europeo ( $\eta_{EU}$ )                             | 98,40%                   |
| Rendimiento de adaptación MPP                                   | > 99,9 %                 |

**Tabla 3.3: Resumen de las características principales del inversor central.**

Al ser un conector central, necesitaríamos de una caja de concentración por cada inversor, pues el inversor tiene un número limitado de entradas. Fronius tiene cajas de concentración, por lo que se ha elegido una de la misma empresa que el inversor para asegurarnos una compatibilidad correcta entre ambos dispositivos.

La caja de concentración elegida es la Fronius String Control 250/30 que tiene una capacidad de corriente de 250 A y una máxima tensión de entrada de 1.000 V.

| Fronius String Control 250/30                    |   |
|--|---|
| Máximo número de series fotovoltaicas            | 30  |
| Máx. corriente de entrada                        | 250 A   |
| Máx. corriente de entrada por serie fotovoltaica | 20 A  |
| Máxima tensión de entrada                        | 1.000 V   |
| Máxima corriente por canal de medición           | 50 A  |
| Número de canales de medición                    | 5   |
| Conexiones (CC in)                               | Bornes 2,5 mm <sup>2</sup> - 25 mm <sup>2</sup>                 |
| Conexiones (CC out)                              | Barra de conexión directa (borne en V) máx. 240 mm <sup>2</sup> |
| Fronius Solar Net (RS422)                        | 2 RJ45 o bornes   |
| Margen de temperatura ambiente                   | -25 - +55° C  |
| Tipo de protección                               | IP 55   |
| Alimentación                                     | 12 V CC (opcional)  |
| Dimensiones (altura x anchura x profundidad)     | 580 x 720 x 200 mm  |
| Peso   | 16,3 Kg   |
| Base   |   |
| Dimensiones (altura x anchura x profundidad)     | 900 x 760 x 240 m   |
| Peso   | 11 kg   |

### 3.1.3.2. INVERSOR DE RAMA (*STRING INVERTER*)

Para la configuración de inversor de rama se eligió un inversor con tecnología *SnapINverter*, que es un sistema innovador de conexión que hace que la instalación y mantenimiento del inversor serán muy sencillos. Este sistema consiste en un soportado que se fija a la pared y se cablea, el inversor se coloca sobre dicho soporte, se gira y asegura sobre la posición final.

A fin de equiparlo con el inversor central, el inversor de rama elegido es *Outdoor* y con tecnología *Transformer Less* (TL, sin transformador) que los hace más baratos y eficientes.

El inversor elegido es el Fronius Eco 25.0-3-S, un inversor trifásico con una potencia de 25 kW, como se ha comentado es un inversor sin transformador, lo que hace que sea un inversor muy ligero.

Cuenta con una protección IP 66, la mayor del mercado en su categoría, lo que hace de este un inversor ideal para instalación en exterior para cualquier tipo de climatología, sin ningún tipo de restricción.

| Fronius Eco 25.0-3-S   |   |
|--|---|
| DATOS DE ENTRADA   |   |
| Máx. corriente de entrada ( $I_{dc \text{ máx.}}$ )                    | 44,2 A  |
| Máx. corriente de cortocircuito por serie FV                           | 66,3 A  |
| Mínima tensión de entrada ( $U_{dc \text{ mín.}}$ )                    | 580 V   |
| Tensión CC mínima de puesta en servicio ( $U_{dc \text{ arranque}}$ )  | 650 V   |
| Tensión de entrada nominal ( $U_{dc,r}$ )                              | 580 V   |
| Máx. tensión de entrada ( $U_{dc \text{ máx.}}$ )                      | 1.000 V   |
| Rango de tensión MPP ( $U_{mpp \text{ mín.}} - U_{mpp \text{ máx.}}$ ) | 580 - 850 V                                       |
| Número de seguidores MPP   | 1   |
| Número de entradas CC  | 6   |
| DATOS DE SALIDA  |   |
| Potencia nominal CA ( $P_{ac,r}$ )                                     | 25.000 W  |
| Máx. potencia de salida  | 25.000 VA   |
| Máx. corriente de salida ( $I_{ac \text{ máx.}}$ )                     | 36,1 A  |
| Acoplamiento a la red (rango de tensión)                               | 3~NPE 380/220 V o 3~NPE 400/230 V (+20 % / -30 %) |
| Frecuencia (rango de frecuencia)                                       | 50 Hz / 60 Hz (45 / 65 Hz)                        |
| Coeficiente de distorsión no lineal                                    | < 2.0 %   |
| Factor de potencia ( $\cos \varphi_{ac,r}$ )                           | 0/1 ind./cap.                                     |

| DATOS GENERALES                              |                    |
|--|--------------------|
| Dimensiones (altura x anchura x profundidad) | 725 x 510 x 225 mm |
| Peso   | 35,7 kg            |
| Tipo de protección                           | IP 66              |
| Margen de temperatura ambiente               | -25 / +60 °C       |
| Humedad de aire admisible                    | 0 - 100 %          |
| RENDIMIENTO                                  |                    |
| Máximo rendimiento                           | 98,20%             |
| Rendimiento europeo ( $\eta_{EU}$ )          | 97,50%             |
| Rendimiento de adaptación MPP                | > 99,9%            |

**Tabla 3.4: Resumen de las características principales del inversor de rama.**

### 3.2. HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS DE DIMENSIONADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Cada día es más habitual usar herramientas informáticas para la simulación, modelado y análisis en numerosos ámbitos de la vida, con el fin de mejorar el proceso y/o rendimiento. El sector fotovoltaico está dentro de esta dinámica y existen diversos programas informáticos orientados para el dimensionado y simulación de sistemas fotovoltaicos.

Hay diversidad de programas de simulación fotovoltaica; gratis, educativos, profesionales, de empresas fotovoltaicas, como es el caso de Fronius, pero el proyecto se ha centrado en los programas con mayor relevancia mundial.

Algunos programas están diseñados específicamente para aplicaciones fotovoltaicas y otros incluyen características adicionales para simulación de otras energías renovables. De los programas que hay en el mercado, hay siete principales, de los cuales pasamos a dar un pequeño resumen de sus características antes de elegir uno de ellos, puesto que para usar un programa de simulación de sistemas fotovoltaicos primero se debe asegurar que el programa permite tomar en cuenta todas o casi todas las variables presentes en el sistema a estudiar.

#### 1) RETScreen (*Renewable Energy Technologies Screen*)

- ☒ Gratuito.
- ☒ Desarrollado por CANMET *Energy Diversification Research Laboratory*.
- ☒ Programa de simulación y análisis de sistemas basados en energías renovables.
- ☒ Análisis de viabilidad de proyectos de eficiencia energética, energías renovables y cogeneración. Incluye un paquete específico dedicado a sistemas fotovoltaicos.
- ☒ Se basa en hojas de cálculo Excel e incluye bases de datos de productos comerciales y variables climáticas.
- ☒ Esta herramienta tiene distintos módulos que pueden ser descargados libremente de internet.

- ☒ El software está disponible en más de 35 idiomas, cubriendo más de dos tercios de la población mundial.
  - ☒ [www.retscreen.net](http://www.retscreen.net)
- 2) TRNSYS (*TRaNsient SYstems Simulation*)
- ☒ Precio en torno a los \$2.100 para uso educacional.
  - ☒ Desarrollado por el *Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin* (Madison).
  - ☒ TRNSYS fue diseñado en un principio para sistemas solares térmicos pasivos en 1975.
  - ☒ Es uno de los programas más flexibles para la simulación energética.
  - ☒ Potente herramienta de simulación dinámica para el diseño y optimización de sistemas energéticos y simulación térmica de edificios en 3D.
  - ☒ Hoy en día incluye también sistemas fotovoltaicos, autónomos y conectados a red.
  - ☒ <http://sel.me.wisc.edu/trnsys>
- 3) HOMER (*Hybrid Optimization Model for Electric Renewables*)
- ☒ Gratuito.
  - ☒ Desarrollado por NREL (*United States National Renewable Energy Laboratory*).
  - ☒ Permite evaluar distintas opciones de diseño tanto para sistemas autónomos como conectados a red.
  - ☒ Especialmente indicado para el estudio de sistemas autónomos híbridos. Incluye: aerogeneradores, módulos fotovoltaicos, pequeños generadores hidráulicos, generadores diésel y baterías.
  - ☒ Realiza tres tipos básicos de análisis: Análisis de sensibilidad, optimización y simulación.
  - ☒ Permite obtener la configuración de sistema optimizada, incluyendo análisis de costos.
  - ☒ [www.nrel.gov/homer](http://www.nrel.gov/homer)
- 4) PV F-Chart (*PhotoVoltaic F-Chart*)
- ☒ Precio de \$400 para uso personal y \$600 para uso educacional.
  - ☒ Desarrollado por el *Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin* (Madison).
  - ☒ Programa de análisis y diseño de sistemas.
  - ☒ Permite cargar datos climáticos y trabajar con sistemas autónomos y conectados a red.
  - ☒ Estudio de sistemas con seguimiento y concentradores
  - ☒ Librería de datos climáticos de 300 localizaciones.
  - ☒ Especificación detallada de perfiles de cargas y análisis económico del sistema.
  - ☒ <http://www.fchart.com>



5) PVsyst (*PhotoVoltaic systems*)

- ☒ Precio de 937,00 € para el primer ordenador y 656,00 € para la segunda licencia. Tiene una versión de evolución gratuita y completa por un mes.
- ☒ Desarrollado en el *Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie (CUEPE) de l'Université de Genève*.
- ☒ PVSYST permite el estudio, dimensionado, simulación y análisis de datos de funcionamiento de sistemas fotovoltaicos autónomos o conectados a la red.
- ☒ Incluye potentes bases de datos climáticas y de componentes del sistema: Baterías, reguladores, inversores y módulos.
- ☒ Posibilidad de añadir elementos 3D para el estudio de las sombras en el generador fotovoltaico.
- ☒ Interfaz multilinguaje; inglés, francés, alemán, español e italiano.
- ☒ Sin duda es una de las herramientas más recomendables dentro del campo de la ingeniería de sistemas fotovoltaicos.
- ☒ <http://www.pvsyst.com/en>

6) PV DesignPro (*PhotoVoltaic Design Program*)

- ☒ Precio de \$249 el CD-ROM para el diseño solar.
- ☒ Desarrollado por *Maui Solar Energy Software Corporation Products*.
- ☒ Para diseño y simulación de sistemas fotovoltaicos.
- ☒ Versiones que incluyen: "PV--DesignPro--S" para sistemas autónomos, "PV--DesignPro--G" para conexión a red, "PV--DesignPro--P" para sistemas de bombeo y "PV--DesignPro--TOU".
- ☒ Una de las herramientas más potentes que podemos encontrar en el mercado actualmente.
- ☒ También permite simular sistemas de seguimiento y estudiar el sombreado del generador fotovoltaico.
- ☒ <http://www.mauisolarsoftware.com>

7) PV\*SOL Expert (*PhotoVoltaic Solar Expert*)

- ☒ Precio de 2.456,00 € por 20 licencias de carácter educativo.
- ☒ Desarrollado por *Valentin Energy Software*, Berlín.
- ☒ Desarrollado para el diseño, planificación y simulación de sistemas fotovoltaicos, autónomos o conectados a la red.
- ☒ Muy útil para calcular sombras en 3D. Incorpora más de 2.000 módulos en 3D.
- ☒ Los cálculos se basan en un análisis horario y los resultados tienen un amplio surtido de formatos de presentación: gráficos, tablas, análisis detallado del proyecto, etc.
- ☒ <http://www.valentin-software.com/en/products/photovoltaics/57/pvsol-premium>

### 3.2.1. ELECCIÓN DEL SOFTWARE: PVSYST

Después de una revisión exhaustiva de los principales programas presentes en el mercado, se ha optado por la utilización del programa comercial PVsyst.

Se ha elegido el programa PVsyst para el diseño y análisis del SFCR del proyecto que nos abarca puesto que, aun siendo un programa de pago, tiene una versión de evaluación por un mes gratuita y completa. El hecho de que sea un programa europeo también nos es beneficioso, pues la base de datos de los diferentes elementos del SFCR tiene en cuenta las características del mercado europeo que es donde vamos a llevar a cabo el diseño y análisis del SFCR.

PVsyst puede importar los datos de la irradiación solar de PVGIS lo cual nos da la ventaja de poder ubicar el SFCR en cualquier punto geométrico de Europa, África o Asia, sin limitarnos a los datos de la base de datos propia.

Facilita la interpretación de resultados gracias a un completo reporte y a la posibilidad de cambiar las variables que intervienen en juego.

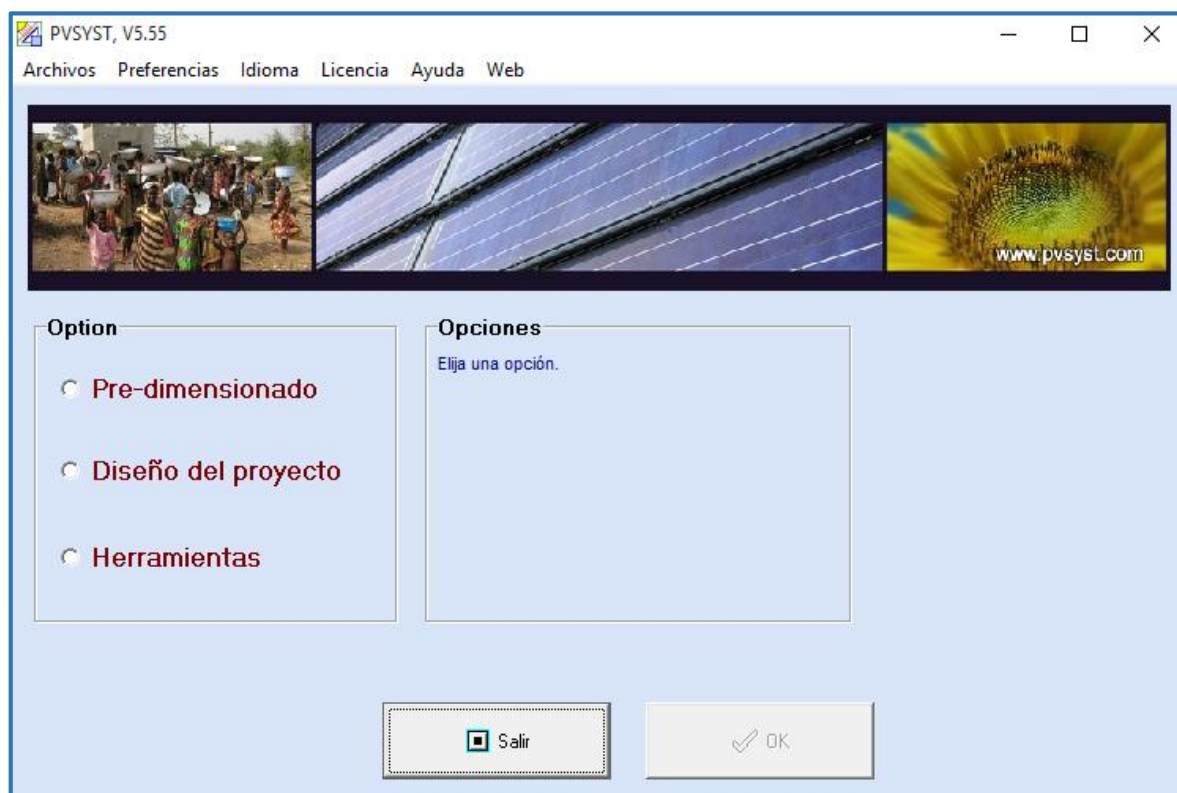


Figura 3.7: Pantalla inicial del programa PVsyst.

El programa PVsyst tiene tres opciones de trabajo; pre-dimensionado, diseño del proyecto y herramientas, que pasamos definir brevemente.

---

### 3.2.1.1. PRE-DIMENSIONADO

Crea una primera evaluación de las dimensiones del sistema y sus componentes. Hace una evaluación rápida de la producción del sistema, generando valores mensuales. Este punto está disponible para sistemas conectados a red, aislados y bombeo.

---

### 3.2.1.2. HERRAMIENTAS

Es una aplicación que gestiona los datos básicos y útiles para el programa; datos de clima, base de datos de componentes (módulos fotovoltaicos, inversores, baterías, bombas,...), así como útiles didácticos (geometrías solar, optimización de la orientación, sombreados,...).

---

### 3.2.1.3 DISEÑO DEL PROYECTO

Es el punto que se usará para el diseño del SFCR, en él se hace un estudio completo y análisis del proyecto. Las funciones de este punto son:

- Cálculo preciso de la producción del sistema, utilizando simulaciones detalladas por hora.
- Diversas variantes de la simulación pueden ser interpretadas y comparadas.
- Sombreado del perfil de obstáculos y herramienta 3D para el estudio de los efectos de las sombras cercanas.
- Análisis detallado de pérdidas del sistema.
- Evaluación económica realizada con los precios de componentes reales.

## 3.3. DISEÑO DE UN SFCR CON PVSYST

Una vez elegidos los elementos del SFCR, la potencia del generador fotovoltaico y el programa informático que nos ayudará con el dimensionamiento y la simulación, procedemos al diseño del SFCR.

Como vamos a hacer dos diseños diferentes con el mismo generador fotovoltaico, pero con distintas etapas de conversión de corriente, en este punto vamos encargarnos de la parte común, es decir, el generador fotovoltaico, el cual se va a dimensionar gracias al PVsyst.

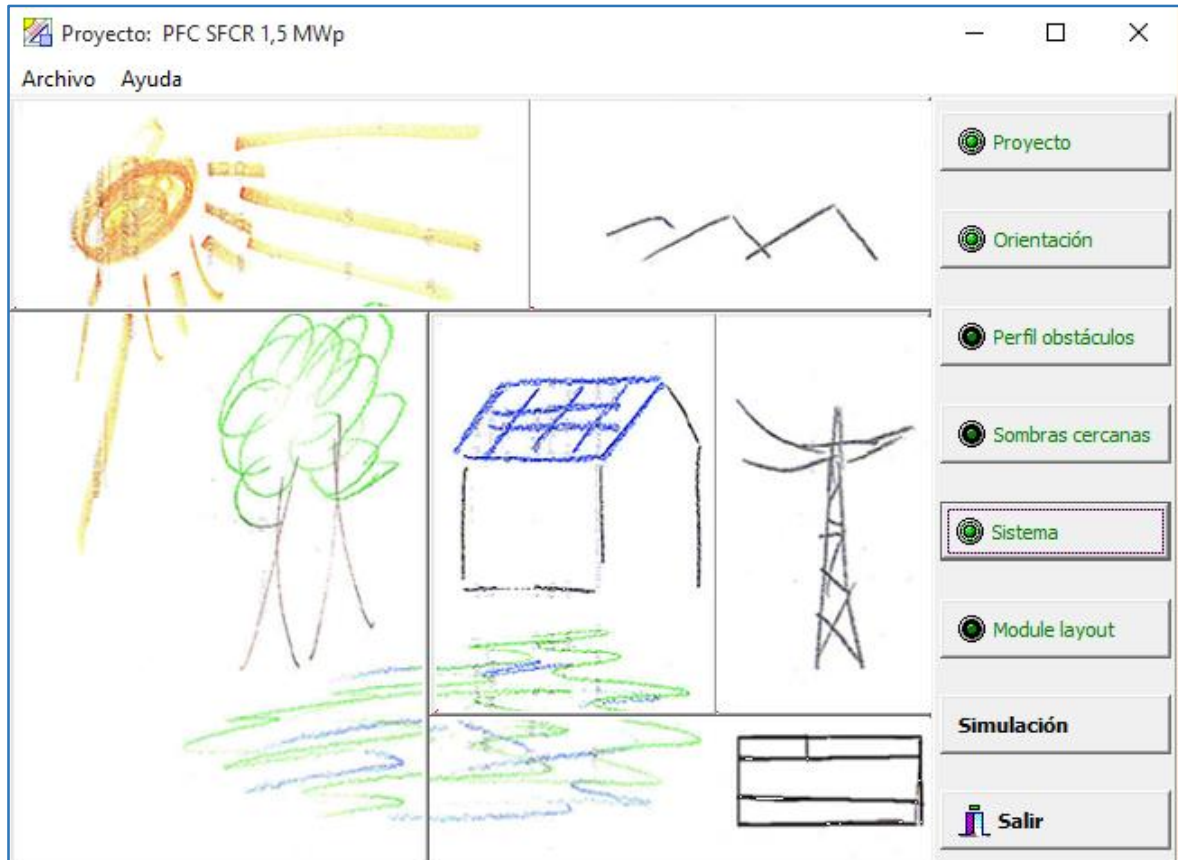


Figura 3.8: Pantalla “Diseño del proyecto” con el sistema “Conectado a red” seleccionado del programa PVsyst.

El programa PVsyst es bastante intuitivo y está muy estructurado, lo cual nos ayuda bastante a la hora de realizar la simulación del SFCR. En este punto como hemos dicho se va a explicar la parte común de ambos SFCR, para lo cual iremos explicando la información que debemos ir metiendo en cada uno de los botones de la pantalla del programa para enumerar los datos de partida necesarios para poder hacer una simulación correcta.

### **Proyecto:**

Principalmente incluye la definición geográfica y los valores de irradiación. Si la ubicación tiene una estación meteorológica cercana nos permite tomar los valores de irradiación y temperatura de dicha estación, si no fuera así podemos copiar los valores de PVGIS que nos darán los valores para el punto geográfico que elijamos.

En el caso de nuestro proyecto, la ubicación está situada en “Los Cañicos”, en la zona occidental del municipio de San Vicente de la Cabeza y no tiene ninguna estación meteorológica cercana, por lo que se han usado los datos sacados de PVGIS a través de la página web: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>, del JRC de la Comisión Europea. De esta forma también aseguramos que los datos sean más precisos, pues son los de las coordenadas geográficas del emplazamiento del SFCR.

Adicionalmente se pueden modificar los valores de albedo que vienen prefijados a un valor de 0,20, valor que se corresponde con el valor medio de albedo de la hierba y que está también dentro de los valores típicos para una zona urbana. Para nuestro proyecto hemos modificado los valores de albedo para los meses de noviembre a febrero incrementándolo a 0,26 que es el valor de albedo para la hierba húmeda.

### **Orientación:**

En este punto definimos el tipo de soportado que va a llevar el generador fotovoltaico; fijo, seguimiento a uno o dos ejes, seguimiento vertical, seguimiento estacional,... para nuestro proyecto hemos optado por un plano inclinado fijo. Por lo que tendremos que fijar dos valores, la inclinación del plano y el acimut.

El programa nos ayuda en la elección de los ángulos, pues tiene unas graficas en las que muestras las curvas de optimización y también nos da los valores de pérdida de productividad con los ángulos escogidos respecto al óptimo, así como el factor de transposición, que es la relación entre la irradiación solar anual incidente sobre la superficie considerada y la irradiación anual incidente sobre una superficie idealmente posicionada.

Se ha elegido una inclinación del plano de 35° y un acimut de 0°, situándonos en la posición óptima para la ubicación del SFCR. El programa, en este apartado, una vez que hemos fijado el tipo de soportado y sus parámetros, nos proporciona el valor estimado de productividad en el plano receptor, que en nuestro caso es de 2.012 kWh/m<sup>2</sup>.

### **Perfil de obstáculos:**

En este punto podemos añadir las sombras que interfieren con el diagrama de trayectoria del sol, mediante cuatro puntos dándole su acimut y altura en grados.

El emplazamiento del SFCR de nuestro proyecto está ubicado en una zona agraria, sin edificaciones próximas, por lo que no se ha añadido ningún perfil de obstáculos.

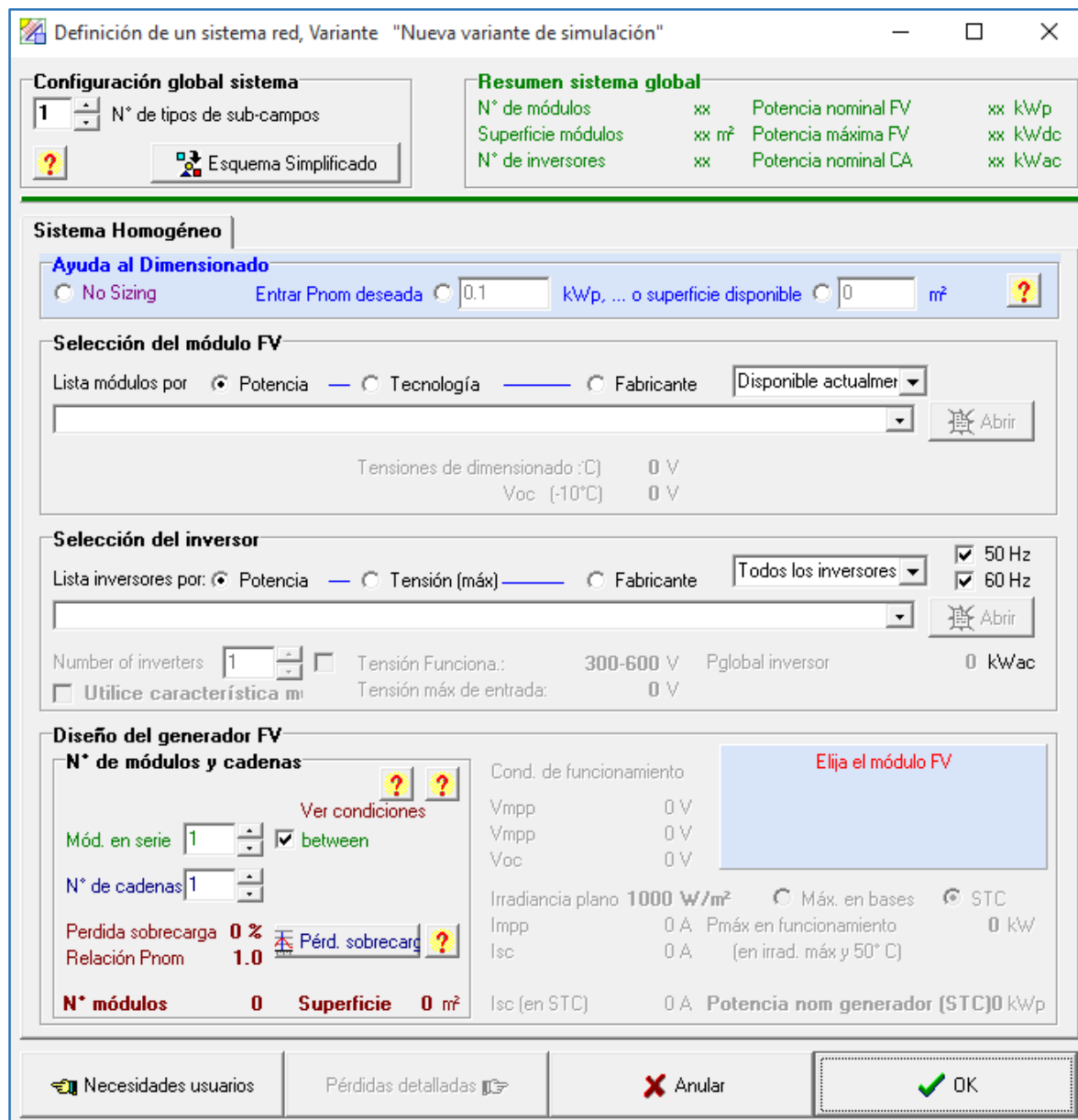
### **Sombras cercanas:**

El programa nos da la posibilidad de modelar estructuras en 3D para simular los objetos que estén cerca del generador fotovoltaico y puedan crear sombras sobre este.

Como hemos comentado, el SFCR está situado en una zona de prados, por lo que no hay elementos que puedan generar sombras.

### **Sistema:**

Aquí es donde vamos a definir tanto nuestro generador fotovoltaico como la etapa de conversión de corriente, aunque esta última se explicará en los siguientes puntos del PFC.



**Definición de un sistema red, Variante "Nueva variante de simulación"**

**Configuración global sistema**

1 N° de tipos de sub-campos

Esquema Simplificado

**Resumen sistema global**

|                    |       |                     |          |
|--------------------|-------|---------------------|----------|
| N° de módulos      | xx    | Potencia nominal FV | xx kWp   |
| Superficie módulos | xx m² | Potencia máxima FV  | xx kW/dc |
| N° de inversores   | xx    | Potencia nominal CA | xx kWac  |

**Sistema Homogéneo**

**Ayuda al Dimensionado**

☐ No Sizing ☐ Entrar Pnom deseada  kWp, ... o superficie disponible  m²

**Selección del módulo FV**

Lista módulos por: ☒ Potencia ☐ Tecnología ☐ Fabricante

Tensiones de dimensionado (°C)  V  
Voc (-10°C)  V

**Selección del inversor**

Lista inversores por: ☒ Potencia ☐ Tensión (máx) ☐ Fabricante

Number of inverters  ☐ Tensión Funciona.: 300-600 V Pglobal inversor  kWac  
☐ Utilice característica m Tensión máx de entrada:  V

**Diseño del generador FV**

**N° de módulos y cadenas**

Mód. en serie  ☒ between

N° de cadenas

Pérdida sobrecarga  %

Relación Pnom

N° módulos  Superficie  m²

Cond. de funcionamiento

Vmpp  V  
Vmpp  V  
Voc  V

Irradiancia plano 1000 W/m² ☐ Máx. en bases ☒ STC

Imp  A Pmáx en funcionamiento  kW  
Isc  A (en irrad. máx y 50° C)

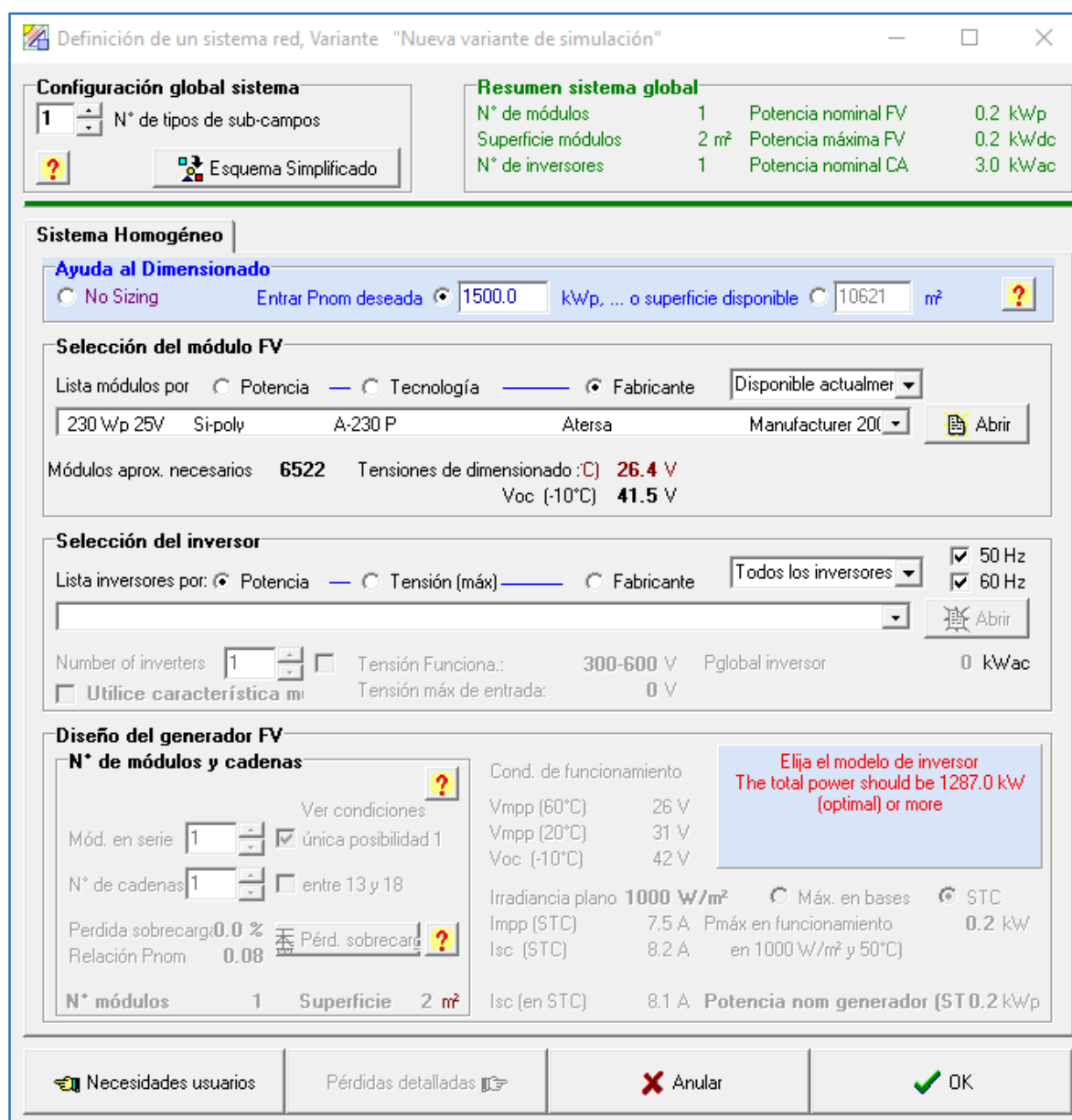
Isc (en STC)  A Potencia nom generador (STC)  kWp

Figura 3.9: Pantalla "Sistema" del programa PVsyst.

Lo primero que debemos rellenar es la potencia que queremos que tenga en generador fotovoltaico, en nuestro caso son 1.500 kWp. Una vez definida la potencia del generador fotovoltaico hay que escoger un módulo fotovoltaico, en nuestro caso hemos elegido el A-230P de Atersa, por lo que lo buscamos en el desplegable que se puede ordenar por; Potencia, Tecnología o Fabricante.

El programa nos da un número aproximado de módulos necesarios, en nuestro caso 6.522, número que puede variar en función del generador elegido. Del mismo modo nos da un valor orientativo de la superficie necesaria, 10.621 m<sup>2</sup> para nuestro diseño, valor que también puede variar, pues depende del número final de módulos fotovoltaicos que tenga el generador fotovoltaico.

El programa PVsyst, una vez introducido el modelo de módulo fotovoltaico y la potencia del generador fotovoltaico, nos da la potencia óptima del inversor, 1.287 kW para nuestro diseño. Este valor nos puede orientar a la hora de escoger un inversor central.



**Definición de un sistema red, Variante "Nueva variante de simulación"**

**Configuración global sistema**

1 N° de tipos de sub-campos

Esquema Simplificado

**Resumen sistema global**

|                    |      |                     |          |
|--------------------|------|---------------------|----------|
| N° de módulos      | 1    | Potencia nominal FV | 0.2 kWp  |
| Superficie módulos | 2 m² | Potencia máxima FV  | 0.2 kWdc |
| N° de inversores   | 1    | Potencia nominal CA | 3.0 kWac |

**Sistema Homogéneo**

**Ayuda al Dimensionado**

☐ No Sizing ☒ Entrar Pnom deseada 1500.0 kWp, ... o superficie disponible 10621 m²

**Selección del módulo FV**

Lista módulos por: ☐ Potencia ☐ Tecnología ☒ Fabricante Disponible actualmer

230 Wp 25V Si-poly A-230 P Atersa Manufacturer 20

Módulos aprox. necesarios **6522** Tensiones de dimensionado: **26.4 V**  
Voc (-10°C) **41.5 V**

**Selección del inversor**

Lista inversores por: ☒ Potencia ☐ Tensión (máx) ☐ Fabricante Todos los inversores

Number of inverters 1 Tensión Funciona.: 300-600 V Pglobal inversor 0 kWac

☐ Utilice característica m Tensión máx de entrada: 0 V

**Diseño del generador FV**

**N° de módulos y cadenas**

Mód. en serie 1 Ver condiciones ☒ única posibilidad 1

N° de cadenas 1 ☐ entre 13 y 18

Perdida sobrecarga: 0.0 % Pérd. sobrecarga

Relación Pnom 0.08

N° módulos 1 Superficie 2 m²

Cond. de funcionamiento

|             |      |
|-------------|------|
| Vmpp (60°C) | 26 V |
| Vmpp (20°C) | 31 V |
| Voc (-10°C) | 42 V |

Irradiancia plano 1000 W/m² Máx. en bases ☒ STC

Imp (STC) 7.5 A Pmáx en funcionamiento 0.2 kW

Isc (STC) 8.2 A en 1000 W/m² y 50°C

Isc (en STC) 8.1 A Potencia nom generador (STC) 0.2 kWp

**Elija el modelo de inversor**  
The total power should be 1287.0 kW (optimal) or more

Necesidades usuarios Pérdidas detalladas Anular OK

Figura 3.10: Pantalla de PVsyst con los módulos fotovoltaicos seleccionados.



El siguiente paso sería elegir el inversor, por lo que, al tener dos configuraciones de conversión de corriente, se detallará en los siguientes puntos, según corresponda una configuración u otra.

---

### 3.3.1. DISEÑO DE UN SFCR CON INVERSOR CENTRAL

Para la configuración de inversor central se ha elegido el Fronius Agilo TL 460.0-3, por lo que en la lista de inversores de PVsyst se seleccionará dicho inversor. El desplegable de inversores puede ordenarse por; Potencia, Tensión (máxima) o Fabricante.

Una vez seleccionado el inversor, el programa nos facilitará el número de inversores necesarios para el generador fotovoltaico definido; tres inversores Fronius Agilo TL 460.0-3. También nos dará la potencia global de la etapa de conversión de corriente, que en nuestro proyecto para la configuración de inversor central es de  $1.380 \text{ kW}_{AC}$ , que está por encima de la potencia óptima sugerida.

Con el inversor seleccionado ya tendríamos completamente definido el generador fotovoltaico, con 6.528 módulos y una superficie de  $10.631 \text{ m}^2$ . Es una superficie inferior a la que tiene el terreno del emplazamiento elegido, que es de  $11.227 \text{ m}^2$ , por lo que no hay problemas con la ubicación.

Las condiciones de funcionamiento facilitadas por PVsyst son una  $V_{mpp}$  de 633 V a  $60^\circ \text{ C}$  y de 751 V a  $20^\circ \text{ C}$ , y una  $I_{mpp}$  de 2.219 A e  $I_{sc}$  de 2.245 A con una  $P_{max}$  de  $1.085 \text{ W/m}^2$  y  $50^\circ \text{ C}$ .

PVsyst también nos facilita la distribución de los módulos, que serían con series de 24 módulos y 272 cadenas. Como hay tres inversores, cada inversor tendrá 90/91 cadenas por lo que necesitaríamos 3 cajas de concentración por inversor, lo que hacen un total de 9 cajas de concentración para el SFCR.

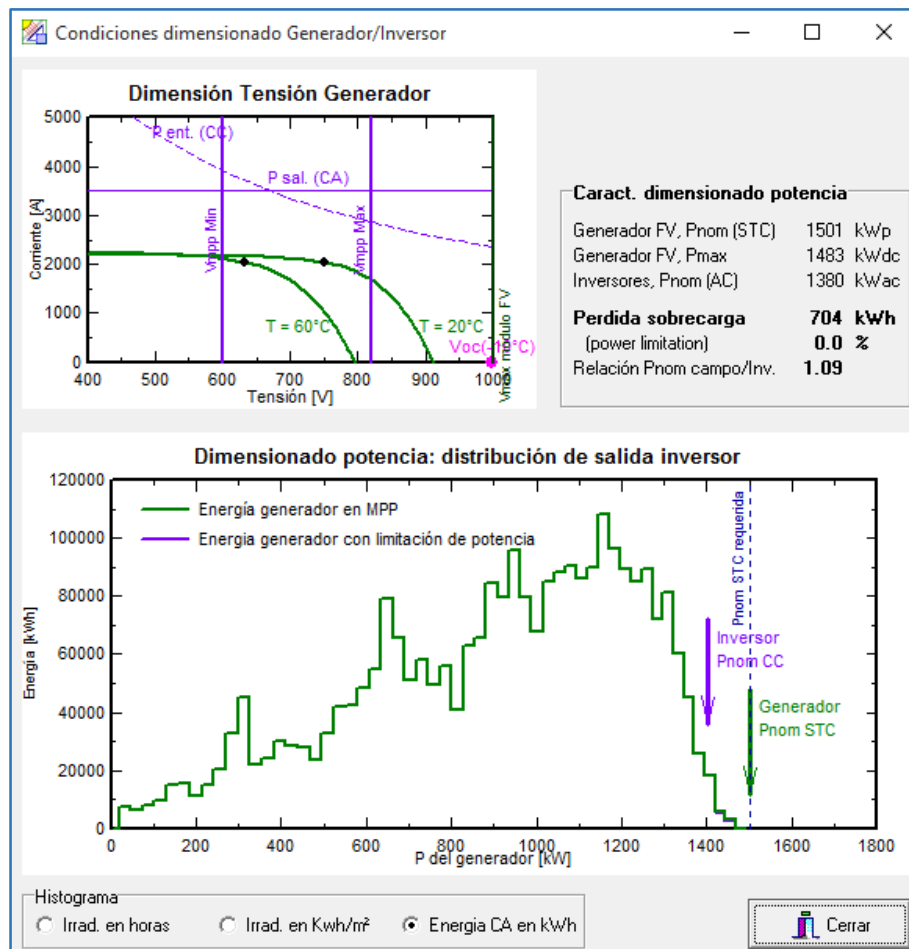


Figura 3.11: Relación de dimensionado entre el generador fotovoltaico y el inversor central.

PVsyst calcula la relación entre la potencia del generador fotovoltaico y la del inversor, que para la configuración de inversor central es de 1,09. Del mismo modo PVsyst nos da el valor de la energía perdida por sobrecarga que se genera cuando la  $P_{MPP}$  del generador fotovoltaico supera su límite de  $P_{nomDC}$ , que para la configuración de inversor central es de 704 kWh, que en términos de porcentajes sería un 0,0%.

### 3.3.2. DISEÑO DE UN SFCR CON INVERSORES DE RAMA

El inversor elegido para la configuración *string* es el Fronius Eco 25.0-3-S por lo que al igual que en la configuración de inversor central, buscaremos el inversor en el desplegable de PVsyst.

Con este inversor, el número de módulos fotovoltaicos (6.528), su configuración (24 ramas en 272 cadenas) y la superficie necesaria (10.631m<sup>2</sup>) dan los mismos valores que para

la configuración con el inversor central. Las condiciones de funcionamiento también son iguales a la configuración con inversor central.

Con esta tipología de inversor PVsyst calcula que son necesarios cincuenta y dos inversores *string* proporcionando potencial global de la etapa de conversión de corriente de 1.300 kW<sub>AC</sub>. Con esta configuración tenemos relación de potencia del generador fotovoltaico y la del inversor de 1,15 con una energía perdida por sobre carga de 5.117 kWh, que representa un 0,2%.

Como estas condiciones de funcionamiento distan mucho de las obtenidas para el inversor central, se ha subido el número de inversores necesarios a cincuenta y cinco con lo que obtenemos una potencia global de 1.375 kW<sub>AC</sub>, que implica una relación de potencia de 1,09. La energía perdida por sobrecarga baja a 597 kWh que es un 0,0%.

Con cincuenta y cinco inversores *string* en vez de los cincuenta y dos mínimos calculados inicialmente por PVsyst nos acercamos más las condiciones de potencia y pérdidas del inversor central, por lo que haremos la simulación con ambas cantidades para asegurarnos un correcto estudio comparativo entre las configuración de inversor central y de rama.

## 4. ANÁLISIS DE UN SFCR DE 1,5 MW

Como ya se ha mencionado para este proyecto se ha usado el programa informático PVsyst que aparte de ayudarnos en el diseño nos permite calcular la energía producida en un periodo de tiempo, como máximo, de un año. PVsyst realiza el cálculo de la producción en función de las condiciones ambientales introducidas.

Para la realización de la simulación se han utilizado los parámetros del capítulo anterior (3. Diseño de un SFCR de 1,5 MW) por lo que tendremos dos resultados energéticos diferenciados para cada configuración de conversión de corriente, pero tendremos una parte común que es la del generador fotovoltaico, pues es común a ambas configuraciones.

### 4.1. BALANCE ENERGÉTICO DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO

La irradiación solar es la forma en la que el sol suministra la energía y las células fotovoltaicas son las encargadas de captar y convertir esta energía en electricidad. Con la tecnología actual solo es posible aprovechar una pequeña parte de la energía solar, en los casos más favorables llegaría a un 17% y en caso de nuestro módulo fotovoltaico se reduce a 14,16% en STC (15,79% en las células fotovoltaicas).

Además existen pérdidas debidas a la temperatura e irradiación sobre las células, ya que no es constante durante todas las horas del día y mucho menos a lo largo del año, es por ello que los módulos no trabajan a su máximo rendimiento durante todas las horas de sol.

Debido a todo esto se va a evaluar el rendimiento del generador fotovoltaico y para ello se ha hecho un balance energético en el cual se analiza la energía suministrada por el sol y la energía a la salida de los módulos fotovoltaicos.

Primero vamos a evaluar los valores de irradiación, para lo que tendremos en cuenta el ángulo de los paneles fotovoltaicos ( $35^\circ$  C) para calcular la irradiación ya que es distinta al plano horizontal. También se tendrá en cuenta el factor angular de rendimiento, que es cuando el sol incide en la célula fotovoltaica en un ángulo distinto al perpendicular, este factor es el Modificador del Ángulo de Incidencia (MAI).

Como podemos ver en la siguiente gráfica, variar el ángulo horizontal de los módulos fotovoltaicos puede incrementar anualmente un 15,84% la irradiación recibida, siendo superior al 50% en algunos meses. También es cierto que al no tener seguidor solar, estamos perdiendo un 2,95% de energía.

|              | <b>GlobHor</b>     | <b>T Amb</b> | <b>GlobInc</b>     |              | <b>FacMAI</b>      |             | <b>GlobEff</b>     |
|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|-------------|--------------------|
|              | kWh/m <sup>2</sup> | °C           | kWh/m <sup>2</sup> | %            | kWh/m <sup>2</sup> | %           | kWh/m <sup>2</sup> |
| Enero        | 63,90              | 12,21        | 113,10             | 77,00        | 3,14               | 2,78        | 109,90             |
| Febrero      | 85,10              | 11,67        | 128,30             | 50,76        | 3,47               | 2,70        | 124,80             |
| Marzo        | 139,20             | 12,59        | 177,70             | 27,66        | 4,89               | 2,75        | 172,90             |
| Abril        | 170,40             | 13,70        | 184,00             | 7,98         | 5,36               | 2,91        | 178,60             |
| Mayo         | 210,50             | 16,93        | 202,50             | -3,80        | 6,60               | 3,26        | 195,90             |
| Junio        | 232,80             | 20,45        | 211,90             | -8,98        | 7,34               | 3,46        | 204,60             |
| Julio        | 240,60             | 23,08        | 224,90             | -6,53        | 7,01               | 3,12        | 217,90             |
| Agosto       | 209,60             | 24,02        | 217,00             | 3,53         | 6,37               | 2,94        | 210,70             |
| Septiembre   | 156,60             | 21,95        | 189,60             | 21,07        | 5,23               | 2,76        | 184,40             |
| Octubre      | 107,30             | 19,54        | 151,00             | 40,73        | 4,06               | 2,69        | 146,90             |
| Noviembre    | 67,20              | 16,08        | 110,80             | 64,88        | 2,96               | 2,67        | 107,90             |
| Diciembre    | 55,20              | 13,65        | 102,90             | 86,41        | 2,89               | 2,81        | 100,00             |
| <b>Anual</b> | <b>1.738,40</b>    | <b>17,16</b> | <b>2.013,70</b>    | <b>15,84</b> | <b>59,31</b>       | <b>2,95</b> | <b>1.954,50</b>    |

**Tabla 4.1: Datos de irradiación y pérdidas en el SFCR.**

GlobHor: Irradiación global horizontal.

T Amb: Temperatura ambiente.

GlobInc: Irradiación global en el plano incidente.

FacMAI: Factor MAI.

GlobEff: Irradiación efectiva en los paneles fotovoltaicos.

Al generador fotovoltaico le llegan 1.954,50 kWh/m<sup>2</sup> que con una superficie de 10.631m<sup>2</sup> que tiene el campo, serían 20.778,29 MW de los cuales solo el 14,16% son aprovechados por los módulos fotovoltaicos, lo que implica que tendríamos 2.942,86 MW anuales en la entrada del generador, o lo que es lo mismo, éste valor sería la energía nominal en eficiencia STC.

Una vez estudiadas las pérdidas que tenemos en el generador fotovoltaico previas a la conversión de la irradiación solar en energía eléctrica, derivadas de la orientación y/o posicionamiento de los módulos fotovoltaicos, así como de incapacidad de aprovechar toda la energía solar, vamos a pasar a representar las pérdidas propias de los módulos fotovoltaicos.

|              | <b>ENomArr</b>   | <b>TempLoss</b>   | <b>IrrLoss</b>   | <b>ModQual</b> | <b>MisLoss</b> | <b>OhmLoss</b> | <b>EArrMPP</b>   |
|--------------|------------------|-------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
|              | kWh              | kWh               | kWh              | kWh            | kWh            | kWh            | kWh              |
| Enero        | 165.546,87       | 7.116,53          | 7.217,35         | 1.617          | 3.199          | 1.248          | 145.149          |
| Febrero      | 187.914,55       | 10.456,26         | 6.890,30         | 1.822          | 3.605          | 1.577          | 163.564          |
| Marzo        | 260.264,91       | 17.078,40         | 7.942,51         | 2.511          | 4.968          | 2.394          | 225.371          |
| Abril        | 268.982,09       | 18.884,86         | 8.467,23         | 2.582          | 5.108          | 2.439          | 231.501          |
| Mayo         | 295.016,27       | 25.282,54         | 9.198,73         | 2.787          | 5.514          | 2.752          | 249.482          |
| Junio        | 308.055,58       | 32.539,86         | 8.806,72         | 2.857          | 5.653          | 2.969          | 255.230          |
| Julio        | 328.060,30       | 38.869,21         | 8.789,09         | 3.006          | 5.948          | 3.219          | 268.229          |
| Agosto       | 317.178,40       | 39.313,26         | 7.979,14         | 2.893          | 5.724          | 3.181          | 258.088          |
| Septiembre   | 277.667,54       | 30.224,39         | 7.624,15         | 2.568          | 5.082          | 2.664          | 229.505          |
| Octubre      | 221.217,29       | 18.245,47         | 8.035,82         | 2.088          | 4.132          | 1.854          | 186.862          |
| Noviembre    | 162.408,64       | 10.337,01         | 6.896,63         | 1.555          | 3.077          | 1.253          | 139.290          |
| Diciembre    | 150.552,40       | 6.362,01          | 7.188,39         | 1.467          | 2.902          | 1.069          | 131.564          |
| <b>Anual</b> | <b>2.942.865</b> | <b>254.709,80</b> | <b>95.036,04</b> | <b>27.753</b>  | <b>54.913</b>  | <b>26.619</b>  | <b>2.483.835</b> |

Tabla 4.2: Datos de irradiación y pérdidas en el SFCR.

ENomArr: Energía nominal generador en eficiencia STC.

TempLoss: Pérdidas debido a la temperatura.

IrrLoss: Pérdidas debido a nivel de irradiancia.

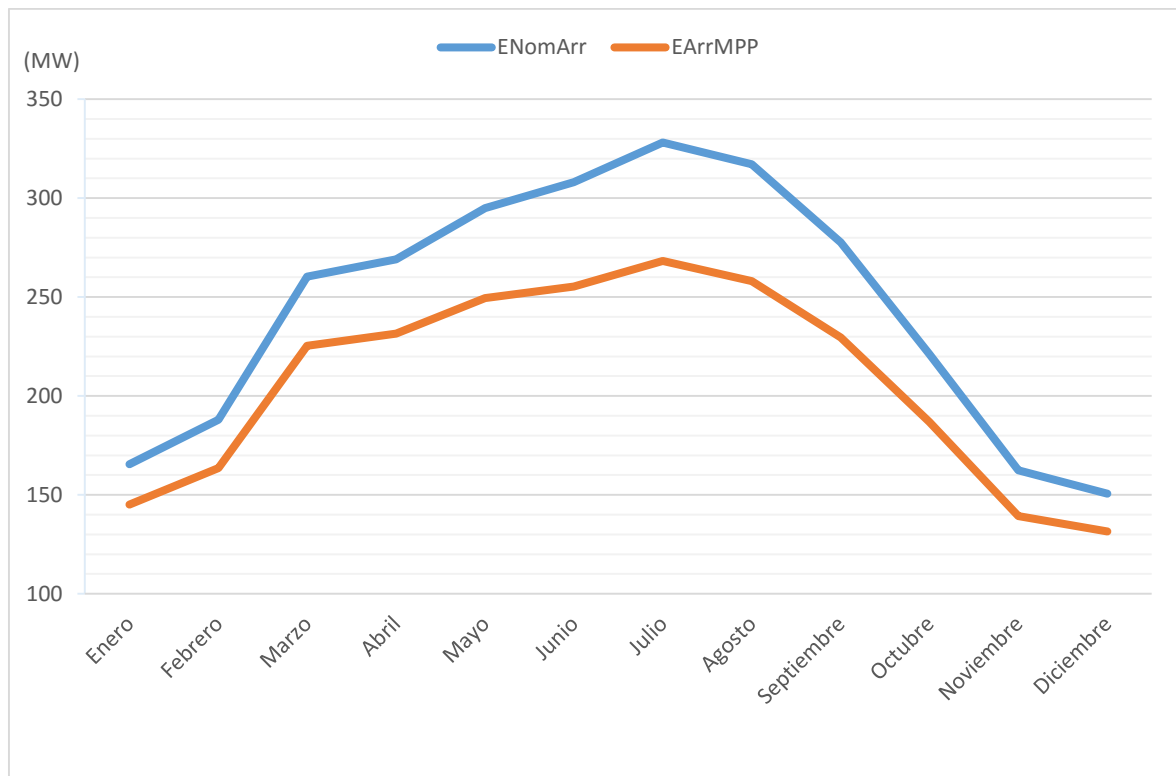
ModQual: Pérdida calidad de módulo.

MisLoss: Pérdida por *mismatch*.

OhmLoss: Pérdida óhmica del cableado.

EArrMPP: Energía a la salida del generador fotovoltaico en MPP.

El generador fotovoltaico tiene unas pérdidas anuales del 15,6%, o lo que es lo mismo, el generador fotovoltaico tiene una eficiencia del 84,4%, pero estos valores son teniendo en cuenta como valor de entrada la energía efectiva a la entrada del generador fotovoltaico, la llamada energía nomina en eficiencia STC, pues si tomamos como valor de entrada la irradiación incidente en el plano de los módulos fotovoltaicos tendríamos una eficiencia del 11,6%.



**Gráfico 4.1: Representación de la energía nominal de entrada y salida del generador fotovoltaico.**

Con esto podemos dar por concluido el estudio del rendimiento fotovoltaico, que no deja de ser la relación entre la irradiación solar en el generador fotovoltaico y la energía suministrada por el generador. Como hemos visto los factores más importantes son la calidad de los módulos fotovoltaicos (aprovechamiento del 14,16% de la energía incidente), el ángulo de instalación y los seguidores solares (pudiendo incrementar un 18,78% la irradiación) y la temperatura ambiente (pudiendo reducir hasta 12,39% la generación en el periodo estival).

#### 4.2. BALANCE ENERGÉTICO DE LA ETAPA DE CONVERSIÓN DE CORRIENTE

La relación entre la energía suministrada por el generador y la energía suministrada a la red es el rendimiento eléctrico y es lo que vamos a analizar en este punto para las dos configuraciones de conversión de corriente que tenemos.



#### 4.2.1. BALANCE ENERGÉTICO DE LA CONFIGURACIÓN DE INVERSOR CENTRAL

En la configuración de inversor central tenemos instalados tres Fronius Agilo TL 460.0-3 que tienen una potencia nominal de 460 kW lo que nos da una potencia nominal de banco de inversores de 1.380 kW.

En la siguiente tabla están expuestos los valores de pérdidas del inversor que nos da PVsyst y que como se puede observar, las pérdidas en el inversor principal y mayoritariamente debidas a la eficiencia del mismo.

|            | IL Oper   | IL Pmin | IL Pmax | IL Vmin | IL Vmax | InvLoss   |
|------------|-----------|---------|---------|---------|---------|-----------|
|            | kWh       | kWh     | kWh     | kWh     | kWh     | kWh       |
| Enero      | 2.246,00  | 0,00    | 0,00    | 0,08    | 0,00    | 2.246,00  |
| Febrero    | 2.482,00  | 0,00    | 0,00    | 0,30    | 0,00    | 2.482,00  |
| Marzo      | 3.447,00  | 0,00    | 0,00    | 2,88    | 0,00    | 3.450,00  |
| Abril      | 3.590,00  | 0,00    | 0,00    | 0,63    | 0,00    | 3.591,00  |
| Mayo       | 3.979,00  | 0,00    | 0,00    | 7,73    | 0,00    | 3.987,00  |
| Junio      | 4.079,00  | 0,00    | 0,00    | 9,53    | 0,00    | 4.089,00  |
| Julio      | 4.230,00  | 0,00    | 0,00    | 21,19   | 0,00    | 4.251,00  |
| Agosto     | 4.006,00  | 0,00    | 0,00    | 34,09   | 0,00    | 4.040,00  |
| Septiembre | 3.541,00  | 0,00    | 0,00    | 24,89   | 0,00    | 3.566,00  |
| Octubre    | 2.846,00  | 0,00    | 0,00    | 3,46    | 0,00    | 2.849,00  |
| Noviembre  | 2.158,00  | 0,00    | 0,00    | 0,39    | 0,00    | 2.159,00  |
| Diciembre  | 2.054,00  | 0,00    | 0,00    | 1,90    | 0,00    | 2.056,00  |
| Año        | 38.658,00 | 0,00    | 0,00    | 107,08  | 0,00    | 38.765,00 |

**Tabla 4.3: Datos de pérdidas en el inversor central.**

IL Oper: Pérdidas del inversor durante el funcionamiento (eficiencia).

IL Pmin: Pérdidas del inversor debido a umbral de potencia.

IL Pmax: Pérdidas del inversor a través de la Pnom inversor.

IL Vmin: Pérdidas del inversor debido a umbral de tensión.

IL Vmax: Pérdidas del inversor a través de la Vnom inversor.

InvLoss: Pérdidas globales inversor.

Para poder valorar las pérdidas del inversor hay que ponerlas en contexto, es decir, hay que tener en cuenta la energía a la entrada del banco de inversores y la salida en el éste, por lo que en la siguiente tabla se muestra la eficiencia del inversor. El inversor central tiene una eficiencia anual del 98,44%, o lo que es lo mismo las pérdidas en el banco de inversores anual es de 1,56%.

|            | <b>EArrMPP</b> | <b>InvLoss</b> | <b>EOutInv</b> | <b>EffInvR</b> |
|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|            | kWh            | kWh            | kWh            | %              |
| Enero      | 145.149,00     | 2.246,00       | 142.903,00     | 98,45%         |
| Febrero    | 163.564,00     | 2.482,00       | 161.082,00     | 98,48%         |
| Marzo      | 225.371,00     | 3.450,00       | 221.921,00     | 98,47%         |
| Abril      | 231.501,00     | 3.591,00       | 227.910,00     | 98,45%         |
| Mayo       | 249.482,00     | 3.987,00       | 245.496,00     | 98,40%         |
| Junio      | 255.230,00     | 4.089,00       | 251.142,00     | 98,40%         |
| Julio      | 268.229,00     | 4.251,00       | 263.978,00     | 98,42%         |
| Agosto     | 258.088,00     | 4.040,00       | 254.048,00     | 98,43%         |
| Septiembre | 229.505,00     | 3.566,00       | 225.939,00     | 98,45%         |
| Octubre    | 186.862,00     | 2.849,00       | 184.013,00     | 98,48%         |
| Noviembre  | 139.290,00     | 2.159,00       | 137.131,00     | 98,45%         |
| Diciembre  | 131.564,00     | 2.056,00       | 129.508,00     | 98,44%         |
| Año        | 2.483.835,00   | 38.765,00      | 2.445.070,00   | 98,44%         |

**Tabla 4.4: Datos de eficiencia del inversor central.**

EArrMPP: Energía virtual del generador en MPP.

EOutInv: Energía Disponible en la Salida del Inversor.

EffInvR: Eficiencia inversor (en funcionamiento).

InvLoss: Pérdidas globales inversor.

La etapa de conversión de corriente con la configuración de inversor central tiene una alta eficiencia, por lo que podemos concluir que las pérdidas en el SFCR son debidas al generador fotovoltaico.

Como se ve en la siguiente tabla, la eficiencia del SFCR a la salida del generador fotovoltaico, teniendo como dato de entrada la irradiación en la superficie de los módulos fotovoltaicos es de un 11,60% (un valor muy bajo), mientras que a la salida de la etapa de conversión de corriente con la configuración de inversor central es del 11,42%, es decir, sólo se pierde un 0,18% de eficiencia en el banco de inversores sobre el sistema global.

|            | EffArrR | EffSysR |
|------------|---------|---------|
|            | %       | %       |
| Enero      | 12,07   | 11,89   |
| Febrero    | 11,99   | 11,81   |
| Marzo      | 11,93   | 11,74   |
| Abril      | 11,83   | 11,65   |
| Mayo       | 11,59   | 11,40   |
| Junio      | 11,33   | 11,15   |
| Julio      | 11,22   | 11,04   |
| Agosto     | 11,18   | 11,01   |
| Septiembre | 11,38   | 11,21   |
| Octubre    | 11,64   | 11,46   |
| Noviembre  | 11,82   | 11,64   |
| Diciembre  | 12,03   | 11,84   |
| Año        | 11,60   | 11,42   |

**Tabla 4.5: Eficiencia del SFCR con inversor central.**

EffArrR: Eficiencia a la salida del generador fotovoltaico contra la superficie bruta.

EffSysR: Eficiencia a la salida del banco de inversores contra la superficie bruta.

#### 4.2.2. BALANCE ENERGÉTICO DE LA CONFIGURACIÓN DE INVERSOR DE RAMA

En la configuración de inversor de rama tenemos dos opciones; instalar cincuenta y dos inversores o cincuenta y cinco inversores Fronius Eco 25.0-3-S que tienen una potencia nominal de 25 kW lo que nos da una potencia nominal de banco de inversores de 1.300 kW y 1.375 kW respectivamente.

Los valores calculados en este punto son idénticos con las dos cantidades de inversores, por lo que se hará un estudio conjunto para ambas y tanto los valores como las tablas se corresponden a ambas opciones de banco de inversores, con cincuenta y dos inversores y cincuenta y cinco inversores.

En la siguiente tabla están expuestos los valores de pérdidas del inversor que nos da PVsyst y que como se puede observar, las pérdidas en el inversor principal y mayoritariamente debidas a la eficiencia del mismo al igual que pasaba en la configuración de inversor central.

|            | IL Oper   | IL Pmin | IL Pmax | IL Vmin | IL Vmax | InvLoss   |
|------------|-----------|---------|---------|---------|---------|-----------|
|            | kWh       | kWh     | kWh     | kWh     | kWh     | kWh       |
| Enero      | 3.258,00  | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 3.258,00  |
| Febrero    | 3.586,00  | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 3.586,00  |
| Marzo      | 4.938,00  | 0,00    | 0,00    | 0,36    | 0,00    | 4.939,00  |
| Abril      | 5.176,00  | 0,00    | 0,00    | 0,01    | 0,00    | 5.176,00  |
| Mayo       | 5.783,00  | 0,00    | 0,00    | 1,38    | 0,00    | 5.785,00  |
| Junio      | 5.977,00  | 0,00    | 0,00    | 0,96    | 0,00    | 5.978,00  |
| Julio      | 6.131,00  | 0,00    | 0,00    | 3,84    | 0,00    | 6.135,00  |
| Agosto     | 5.791,00  | 0,00    | 0,00    | 6,58    | 0,00    | 5.798,00  |
| Septiembre | 5.011,00  | 0,00    | 0,00    | 3,85    | 0,00    | 5.015,00  |
| Octubre    | 4.104,00  | 0,00    | 0,00    | 0,67    | 0,00    | 4.105,00  |
| Noviembre  | 3.180,00  | 0,00    | 0,00    | 0,02    | 0,00    | 3.180,00  |
| Diciembre  | 3.036,00  | 0,00    | 0,00    | 0,45    | 0,00    | 3.036,00  |
| Año        | 55.972,00 | 0,00    | 0,00    | 18,12   | 0,00    | 55.990,00 |

**Tabla 4.6: Datos de pérdidas en el inversor de rama.**

IL Oper: Pérdidas del inversor durante el funcionamiento (eficiencia).

IL Pmin: Pérdidas del inversor debido a umbral de potencia.

IL Pmax: Pérdidas del inversor a través de la Pnom inversor.

IL Vmin: Pérdidas del inversor debido a umbral de tensión.

IL Vmax: Pérdidas del inversor a través de la Vnom inversor.

InvLoss: Pérdidas globales inversor.

Para poner poder valorar las pérdidas del inversor hay que ponerlas en contexto, es decir, hay que tener en cuenta la energía a la entrada del banco de inversores y la salida en el éste, por lo que en la siguiente tabla se muestra la eficiencia del inversor. El inversor central tiene una eficiencia anual del 97,75%, o lo que es lo mismo las pérdidas en el banco de inversores anual es de 2,25%.

|            | <b>EArrMPP</b> | <b>InvLoss</b> | <b>EOutInv</b> | <b>EffInvR</b> |
|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|            | kWh            | kWh            | kWh            | %              |
| Enero      | 145.149,00     | 3.258,00       | 141.891,00     | 97,76%         |
| Febrero    | 163.564,00     | 3.586,00       | 159.978,00     | 97,81%         |
| Marzo      | 225.371,00     | 4.939,00       | 220.432,00     | 97,81%         |
| Abril      | 231.501,00     | 5.176,00       | 226.325,00     | 97,76%         |
| Mayo       | 249.482,00     | 5.785,00       | 243.698,00     | 97,68%         |
| Junio      | 255.230,00     | 5.978,00       | 249.253,00     | 97,66%         |
| Julio      | 268.229,00     | 6.135,00       | 262.094,00     | 97,71%         |
| Agosto     | 258.088,00     | 5.798,00       | 252.291,00     | 97,75%         |
| Septiembre | 229.505,00     | 5.015,00       | 224.490,00     | 97,81%         |
| Octubre    | 186.862,00     | 4.105,00       | 182.757,00     | 97,80%         |
| Noviembre  | 139.290,00     | 3.180,00       | 136.109,00     | 97,72%         |
| Diciembre  | 131.564,00     | 3.036,00       | 128.527,00     | 97,69%         |
| Año        | 2.483.835,00   | 55.991,00      | 2.427.845,00   | 97,75%         |

**Tabla 4.7: Datos de eficiencia del inversor de rama.**

EArrMPP: Energía virtual del generador en MPP.

EOutInv: Energía Disponible en la Salida del Inversor.

EffInvR: Eficiencia inversor (en funcionamiento).

InvLoss: Pérdidas globales inversor.

La etapa de conversión de corriente con la configuración de inversor de rama tiene una alta eficiencia, por lo que podemos concluir que las pérdidas en el SFCR son debidas al generador fotovoltaico.

Como se ve en la siguiente tabla, la eficiencia del SFCR a la salida del generador fotovoltaico, teniendo como dato de entrada la irradiación en la superficie de los módulos fotovoltaicos es de un 11,60% (un valor muy bajo), mientras que a la salida de la etapa de conversión de corriente con la configuración de inversor de rama es del 11,34%, es decir, sólo se pierde un 0,26% de eficiencia en el banco de inversores sobre el sistema global.

|            | EffArrR | EffSysR |
|------------|---------|---------|
|            | %       | %       |
| Enero      | 12,07   | 11,80   |
| Febrero    | 11,99   | 11,73   |
| Marzo      | 11,93   | 11,67   |
| Abril      | 11,83   | 11,57   |
| Mayo       | 11,59   | 11,32   |
| Junio      | 11,33   | 11,06   |
| Julio      | 11,22   | 10,96   |
| Agosto     | 11,19   | 10,93   |
| Septiembre | 11,38   | 11,14   |
| Octubre    | 11,64   | 11,39   |
| Noviembre  | 11,82   | 11,55   |
| Diciembre  | 12,03   | 11,75   |
| Año        | 11,60   | 11,34   |

**Tabla 4.8: Eficiencia del SFCR con inversor de rama.**

EffArrR: Eficiencia a la salida del generador fotovoltaico contra la superficie bruta.

EffSysR: Eficiencia a la salida del banco de inversores contra la superficie bruta.

#### 4.3. BALANCE ECONÓMICO DE LA ETAPA DE CONVERSIÓN DE CORRIENTE

El encargado de gestionar las transacciones de diario y que centralizará las compras de energía a futuro es el Operador del Mercado Ibérico de Energía, Polo Español, S. A., que actualmente se la conoce con las siglas OMIE, y es la que asume la gestión del sistema de ofertas de compra y venta de energía eléctrica en el mercado. Según el OMIE:

*“Los precios de la electricidad en Europa se fijan diariamente (todos los días del año) a las 12:00 horas, para las veinticuatro horas del día siguiente, en lo que conocemos como Mercado Diario. El precio y el volumen de energía en una hora determinada se establecen por el cruce entre la oferta y la demanda, siguiendo el modelo marginalista adoptado por la UE, en base al algoritmo aprobado para todos los mercados europeos (EUPHEMIA) y de aplicación actualmente además de España y Portugal en Alemania, Austria, Bélgica, Eslovaquia, Eslovenia, Estonia, Francia, Holanda, Hungría, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Finlandia, Suecia, Dinamarca, Noruega, Polonia, Reino Unido, República Checa y Rumania.*

*Los agentes compradores y vendedores pueden acudir a nuestro mercado con independencia de que estén en España o en Portugal. Sus ofertas de compra y venta son aceptadas atendiendo a su orden de mérito económico, hasta que la interconexión entre España y Portugal se ocupa totalmente. Si en una cierta hora del día la capacidad de la interconexión es suficiente para permitir el flujo de electricidad negociado por los agentes, el precio de la electricidad en esa hora será el mismo para España y Portugal. Si por el contrario, en esa hora la interconexión se ocupa totalmente, en ese momento el algoritmo para la fijación del precio (EUPHEMIA) se ejecuta de manera separada de tal forma que aparece una*

*diferencia de precios entre ambos países. Durante el año 2014 el 90 % del tiempo el precio de la electricidad fue igual en España que en Portugal, lo que muestra un correcto funcionamiento de la integración del mercado ibérico.*

*El mecanismo descrito para la formación del precio de la electricidad en el mercado diario de España y Portugal, se conoce como "market splitting", es el mismo mecanismo que se utiliza a nivel Europeo.*

*OMIE gestionó en 2014 transacciones por casi 11.000 millones de euros, correspondientes a más del 80% del consumo eléctrico de España y Portugal. Nuestro mercado funciona los 365 días del año, 24 horas al día, y está abierto a todos los agentes compradores y vendedores que quieran operar en él. En la actualidad, más 800 agentes ya participan en nuestros mercados con un total de más de 13 millones de transacciones al año.*

*El Mercado Ibérico es uno de los mercados más líquidos de Europa y nuestros precios son comparables a los de los demás mercados. De hecho, en la mayoría de los años, nuestro mercado ha arrojado precios medios inferiores a los de la media europea de los mercados más relevantes. Adicionalmente, mientras que nuestros precios oscilan entre 0,00 y 180,30 €/MWh, otros mercados europeos se mueven en un rango más amplio de precios, de entre -500,00 y +3000,00 €/MWh."*

Esta información está sacada de la página web de la OMIE y nos muestra que el precio de venta de energía no es fijo, por lo que para el estudio económico tendremos que hacer una estimación del precio de venta con los valores históricos.

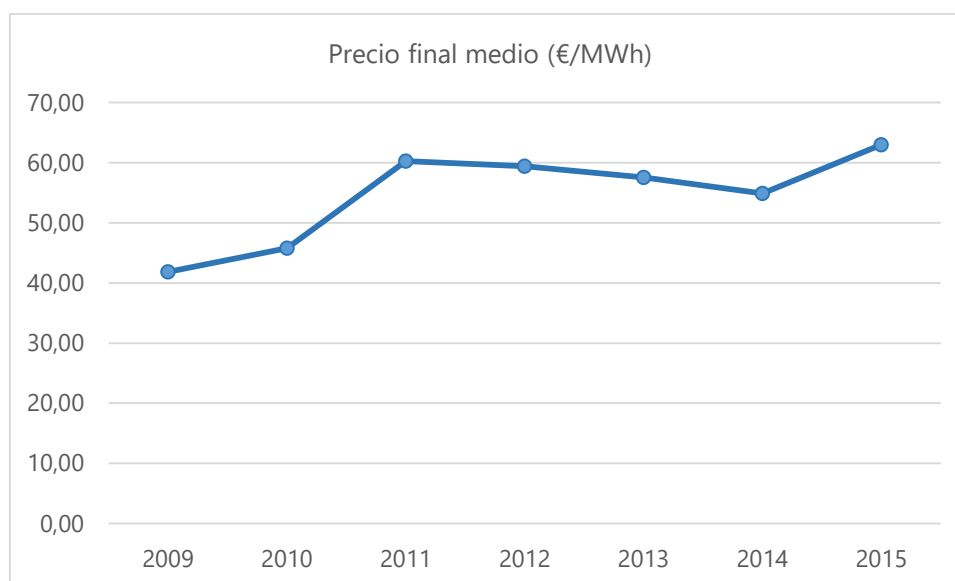
En la página web de la OMIE existen valores del precio final medio en €/MWh desde el segundo trimestre del 2009 y como podemos observar en la siguiente tabla, los valores fluctúan, debido a ello el valor que escojamos del precio de venta será una estimación.

|             | Ene   | Feb   | Mar   | Abr   | May   | Jun   | Jul   | Ago   | Sep   | Oct   | Nov   | Dic   | Anual        |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| <b>2009</b> |       |       |       |       |       |       | 43,31 | 40,17 | 42,06 | 42,40 | 40,57 | 41,13 | <b>41,61</b> |
| <b>2010</b> | 41,73 | 38,06 | 30,51 | 35,10 | 43,80 | 46,88 | 50,87 | 50,40 | 53,98 | 51,02 | 50,53 | 56,76 | <b>45,80</b> |
| <b>2011</b> | 53,75 | 58,20 | 56,05 | 53,98 | 56,70 | 58,83 | 60,80 | 62,05 | 68,45 | 68,95 | 61,64 | 63,63 | <b>60,25</b> |
| <b>2012</b> | 63,84 | 66,21 | 59,23 | 53,40 | 53,72 | 63,71 | 61,29 | 58,84 | 58,30 | 59,77 | 57,06 | 57,78 | <b>59,43</b> |
| <b>2013</b> | 65,51 | 59,06 | 41,57 | 32,31 | 54,64 | 53,36 | 62,42 | 57,66 | 61,32 | 65,09 | 56,12 | 81,67 | <b>57,56</b> |
| <b>2014</b> | 50,51 | 33,33 | 40,31 | 40,49 | 53,21 | 61,59 | 59,53 | 59,59 | 70,18 | 68,32 | 60,20 | 61,79 | <b>54,92</b> |
| <b>2015</b> | 67,21 | 58,81 | 56,96 | 59,69 | 58,07 | 66,99 | 72,67 | 65,32 | 61,25 |       |       |       | <b>63,00</b> |

**Tabla 4.9: Precio final medio mensual (€/MWh) - Total Demanda Nacional.**

Para el 2015 la media de los tres primeros trimestres da una valor medio de precio de venta de 63,00 €/MWh. Si observamos en los años anteriores la media anual es superior a la de los tres primeros trimestres, por lo que podríamos aventurar que el precio medio anual para el 2015 sería superior ligeramente superior a este valor de 63,00 €/MWh.





**Gráfico 4.2: Precio final medio anual (€/MWh) - Total Demanda Nacional.**

El precio de venta del 2015 rompe con la tendencia a la baja de los tres últimos años, situando el valor del precio final medio anual en un valor máximo histórico. Analizando este dato quizás sería arriesgado pensar que el precio va a seguir con tendencia a la alza, de modo que vamos a usar el precio final medio de los tres primeros trimestres del 2015, 63,00 €/MWh, como valor estimado a la hora de realizar el balance económico.

Para realizar un balance económico completo deberíamos tener la inversión de todo el parque fotovoltaico, pero como en el presente proyecto nos hemos centrado en las diferentes configuraciones de inversores, se ha valorado únicamente la inversión necesaria para el banco de inversores ya que la inversión para el resto del SFCR sería común para ambas configuraciones.

#### 4.3.1. BALANCE ECONÓMICO DE LA CONFIGURACIÓN DE INVERSOR CENTRAL

Según la simulación de PVsyst y como se ha mostrado en el punto 4.2.1. la energía generada por el SFCR con la configuración de inversor central es de 2.445.070 kWh anuales. Habiendo estimado como precio medio de venta 63,00 €/MWh, tendríamos unos ingresos anuales 154.039,41 €.

La serie Agilo TL de Fronius tiene un precio de venta de 0,084 €/W como el inversor elegido ha sido el Fronius Agilo TL 460.0-3 que tiene una potencia de 460 kW el precio final de venta del inversor es de 38.640,00 € la unidad, dado que para esta configuración usamos tres inversores, el precio total de los inversores es de 115.920,00 €.

En la configuración de inversor central como se ha comentado en el punto 3.1.3.1. son necesarias cajas de concentración a la entrada de los inversores. La caja elegida ha sido la Fronius String Control 250/30, de las que necesitaríamos tres cajas por inversor, es decir, un total de 9 cajas de concentración que tienen un precio de venta de 1.500,00 € la unidad, por lo que el coste de las cajas de concentración sería de 13.500,00 €.

Con esto el coste del banco de inversores en configuración de inversor central ascendería a 129.420,00 €.

|         | Coste inversores | Pot. Inversores | CosEProd | OverLoss | OverLoss |
|---------|------------------|-----------------|----------|----------|----------|
|         | (€)              | (kW)            | (€/MWh)  | (kWh)    | (€)      |
| CENTRAL | 129.420,00       | 1.380           | 52,93    | 704      | 44,35    |

Tabla 4.10: Principales datos económicos de la opción con inversor central.

#### 4.3.2. BALANCE ECONÓMICO DE LA CONFIGURACIÓN DE INVERSOR DE RAMA

Según la simulación de PVsyst y como se ha mostrado en el punto 4.2.2. la energía generada por el SFCR con la configuración de inversor de rama es de 2.427.845 kWh anuales. Habiendo estimado como precio medio de venta 63,00 €/MWh, tendríamos unos ingresos anuales 152.954,24 €.

La serie Eco de Fronius tiene un precio de venta de 0,096 €/W como el inversor elegido ha sido el Fronius Eco 25.0-3-S que tiene una potencia de 25 kW el precio final de venta del inversor es de 2.400,00 € la unidad, dado que para esta configuración tenemos la opción de cincuenta y dos inversores y cincuenta y cinco inversores, inversores, el precio total de los inversores es de 124.800,00 € y 132.200,00 € respectivamente.

Una vez que ya tenemos los datos económicos de las dos opciones de la configuración de inversor de rama, podemos valorar cual de ellas sería más óptima económicamente, pues ambas producen la misma energía.

|           | Coste inversores | Pot. Inversores | CosEProd | OverLoss |        |
|-----------|------------------|-----------------|----------|----------|--------|
|           | (€)              | (kW)            | (€/MWh)  | (kWh)    | (€)    |
| STRING_52 | 124.800,00       | 1.300           | 51,40    | 5.117    | 322,37 |
| STRING_55 | 132.000,00       | 1.375           | 54,37    | 597      | 38,61  |

Tabla 4.11: Principales datos económicos de las dos opciones de inversor de rama.

CosEProd: Coste de la energía producida.

OverLoss: Pérdidas por sobrecarga.

La opción con cincuenta y dos inversores es 7.200,00 € más barata respecto a la de cincuenta y cinco inversores y por sobrecarga tendría únicamente 284,76 € más de pérdidas,

por desde el punto de vista económico es más óptima la opción de cincuenta y dos inversores.

Esta elección viene reforzada puesto que la mayoría de los inversores aceptan una parte de sobrecarga durante tiempos cortos (depende de la temperatura del dispositivo). Este factor no lo tiene en cuenta PVsyst en la simulación, por lo que la pérdida de sobrecarga podría reducirse sobre la calculada.

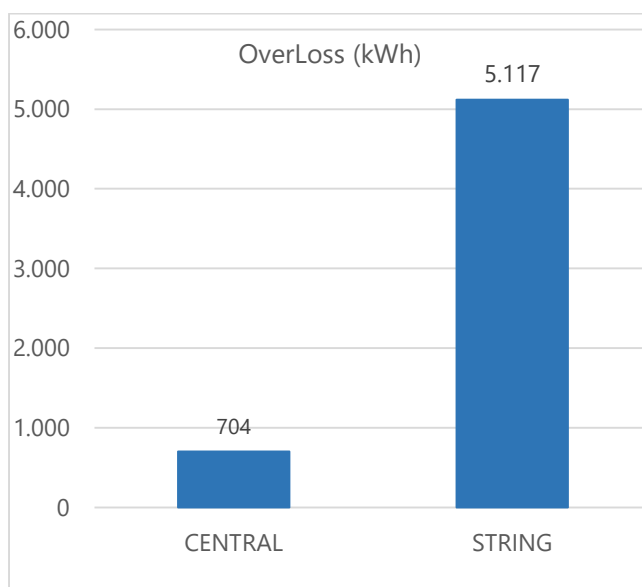
Además cuando se sobre dimensiona el inversor, éste funcionará con más frecuencia en su gama de baja potencia, donde la eficiencia decrece, por lo que no obtenemos beneficio en tener una potencia mayor en el banco de inversores.

A partir de este punto solo tendremos en cuenta la opción de cincuenta y dos inversores para configuración de inversor de rama.

#### 4.4. COMPARATIVA ENERGÉTICA Y ECONÓMICA ENTRE CONFIGURACIONES

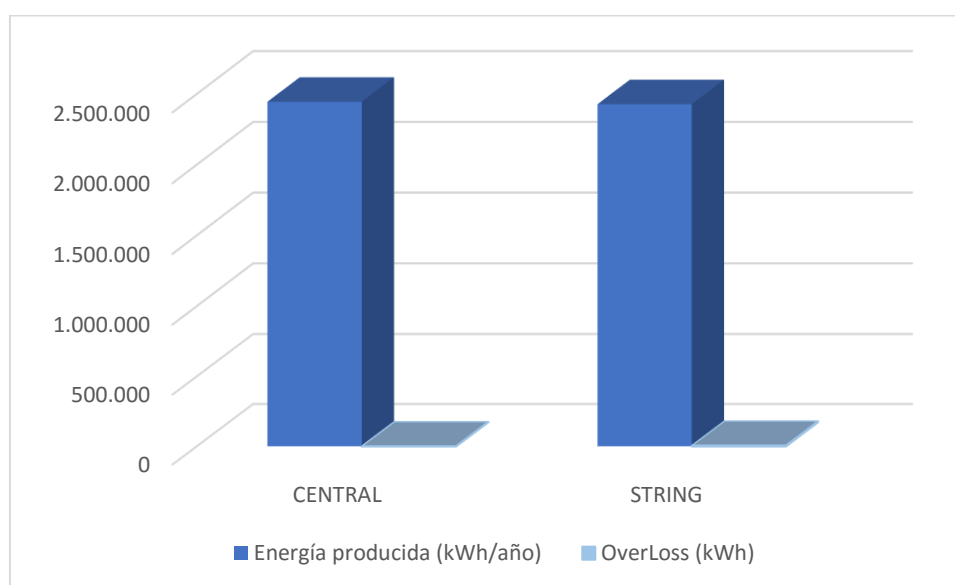
##### 4.4.1. PÉRDIDAS DE SOBRECARGA

En ambas configuraciones el generador fotovoltaico es de 1,5 MW, pero en la configuración de inversor central el banco de inversores tiene una potencia de 1.380 kW mientras que en la de inversor de rama tiene una potencia de 1.300 kW. Ambas configuraciones tiene una  $P_{nomDC}$  global de los inversores menor que la  $P_{MPP}$  del generador que conllevan unas pérdidas por sobrecarga.



**Gráfico 4.3: Pérdidas de sobrecarga en ambas configuraciones.**

Ambas configuraciones tienen pérdidas de sobrecarga y éstas en la configuración de inversor de rama son muy superiores a las de la configuración de inversor central, pero si ponemos en contexto estos datos, esta diferencia entre las pérdidas de sobrecarga deja de ser significativa. Las pérdidas de sobrecarga en la configuración de inversor de rama representan el 0,21% de la producción anual y en la configuración de inversor central el 0,03% de la misma, pero como se muestra en el siguiente gráfico, ambos valores son insignificantes.



**Gráfico 4.4: Energía producida y pérdidas de sobrecarga en ambas configuraciones.**

Las pérdidas de sobrecarga no es un factor determinante pues representan una pérdida de 44,35 € y 322,37 € respecto a la producción anual de la configuración de inversor central y la de inversor de rama respectivamente.

#### 4.4.2. COSTE DE LA ETAPA DE CONVERSIÓN DE CORRIENTE

El desembolso para adquirir la etapa de conversión de corriente en configuración de inversor central es de 129.420,00 € lo cual incluye los tres inversores Fronius Agilo TL 460.0-3 y las nueve cajas de concentración Fronius String Control 250/30.

Por su parte la etapa de conversión de corriente en configuración de inversor de rama tiene un precio de 124.800,00 € que incluye cincuenta y dos inversores Fronius Eco 25.0-3-S.

La diferencia de precio entre ambas configuraciones es de 4.620,00 €, siendo más económica la configuración de inversor de rama.

---

### 4.4.3. ENERGÍA PRODUCIDA

La configuración de inversor central genera una energía de 2.445 MWh anuales, lo que implica unos ingresos de 154.039,41 € anuales con la suposición de que el precio de venta de energía eléctrica esté a 63 €/MW.

La configuración de inversor de rama genera una energía de 2.428 MWh anuales, lo que implica unos ingresos de 152.954,24 € anuales con la suposición de que el precio de venta de energía eléctrica esté a 63 €/MW.

La configuración de inversor central es más eficiente, produciendo 17 MW anuales más que la configuración de inversor de rama, lo que implica unos ingresos mayores de 1.085,18 € anuales en la configuración de inversor central.

---

### 4.4.4. COSTE DE LA ENERGÍA PRODUCIDA

Si tenemos únicamente en cuenta la inversión en la etapa de conversión de corriente, podemos calcular el coste de producción de energía.

En la configuración de inversor central el coste de producción de energía es de 52,93 €/MWh mientras que en la configuración de inversor de rama el coste es de 51,40 €/MWh lo que implica que el coste de producción de energía en la configuración de inversor de rama es 1,53 €/MWh menor que en la configuración de inversor central.

---

### 4.4.5. PÉRDIDAS DEL INVERSOR

Las pérdidas del banco de inversores en la configuración de inversor central son de 38.765 kWh, lo que implica unas pérdidas del 1,56% en el banco de inversores sobre la energía que hay a la salida del generador fotovoltaico. El inversor central tiene una eficiencia en funcionamiento del 98,44%.

Las pérdidas del banco de inversores en la configuración de inversor de rama son de 55.991 kWh, lo que implica unas pérdidas del 2,25% en el banco de inversores sobre la energía que hay a la salida del generador fotovoltaico. El inversor de rama tiene una eficiencia en funcionamiento del 97,75%.

La configuración de inversor central tiene 17.226 kWh menos de pérdidas en el banco de inversores, siendo un 0,69% más efectivo que la configuración de inversor de rama.

#### 4.4.6 EFICIENCIA DEL SFCR

Como ya hemos visto la eficiencia del sistema se ve condicionada por la eficiencia del generador fotovoltaico en mayor medida que por la eficiencia de la etapa de conversión de corriente.

Nuestro SFCR tiene una eficiencia del 11,42% en la configuración de inversor central frente al 11,34% que presenta la configuración de inversor de rama, por lo que únicamente es un 0,08% más efectivo el SFCR con una configuración de inversor central.

La eficiencia del SFCR, relación entre energía a la salida del banco de inversores e irradiación efectiva en la superficie del generador fotovoltaico, viene determinada por las pérdidas en el generador fotovoltaico, por lo que no es un valor significativo para discriminar entre ambas configuración de etapa de conversión de corriente.

#### 4.5. CONCLUSIONES

Para evaluar cual de las dos configuraciones de etapa de conversión de corriente es más conveniente para un SFCR de 1,5 MW vamos a mostrar una tabla con las principales características que son relevantes a la hora de discernir entre ambas configuraciones.

|                   | Coste inversores | Energía producida |            | CosEProd | InvLoss |       |
|-------------------|------------------|-------------------|------------|----------|---------|-------|
|                   | (€)              | (MWh/año)         | (€/año)    | (€/MWh)  | (kWh)   | (%)   |
| CENTRAL           | 129.420,00       | 2.445             | 154.039,41 | 52,93    | 38.765  | 1,56  |
| STRING            | 124.800,00       | 2.428             | 152.954,24 | 51,40    | 55.991  | 2,25  |
| CENTRAL vs STRING | 4.620,00         | 17                | 1.085,18   | 1,53     | -17.226 | -0,69 |

**Tabla 4.12: Principales valores de las configuraciones de la etapa de conversión de corriente.**

CosEProd: Coste de la energía producida.

InvLoss: Pérdidas globales inversor.

El inversor de la configuración de inversor central, Fronius Agilo TL 460.0-3, tiene una eficiencia mejor que el inversor de la configuración de inversor de rama, Fronius Eco 25.0-3-S, siendo la del inversor central de 98,44% contra el 97,75% del inversor de rama. Esto provoca que la configuración de inversor central tenga mayor producción, 17 MWh/año que traducido en ingresos son 1.085,18 €/año.

El inversor Fronius Eco 25.0-3-S tiene un precio de 0,096 €/W que es superior al precio del inversor Fronius Agilo TL 460.0-3 con un precio de 0,084 €/W, pero al instalar 80 kW menos la configuración de inversor de rama, unido a que no necesita elementos adicionales, hace que el coste de la etapa de conversión de corriente en configuración de inversor de rama sea 4.620,00 € menor que la configuración de inversor central.

El coste de la energía producida, teniendo solo en cuenta el coste de la etapa de conversión de corriente, en la configuración de inversor central es de 52,93 €/MWh y en la configuración de inversor de rama es de 51,40 €/MWh. Aunque el coste del SFCR sería mayor, como el resto de los elementos son comunes para ambas configuraciones, aunque la diferencia de costes entre ambas configuraciones no sería de 1,53 €/MWh, siempre sería menor en la configuración de inversor de rama.

A raíz de estos datos objetivos podríamos concluir que a corto plazo sería más rentable la instalación de una etapa de inversión de corriente con inversor de rama, pues hasta que no hubieran transcurrido cuatro años y tres meses, los 17 MWh/año que genera más la configuración de inversor no cubren los 4.620.000,00 € que cuesta más dicha configuración. A partir de los cuatro años y tres meses la configuración de inversor central sería más rentable económicamente debido a que es más eficiente energéticamente.

El precio de venta de la energía eléctrica es fluctuante, mientras que la eficiencia del inversor es fija, de modo que al tener una mejor eficiencia la configuración de inversor central podría hacernos pensar que esta sería la elección correcta pues siempre vamos a tener una mayor generación de energía. Esto es correcto, pero ahora mismo estamos en un punto de precio máximo de venta de la energía eléctrica, si tomásemos como estimación del precio de venta la media de los datos conocidos desde el 2009, 54,69 €/MWh, necesitaríamos casi cinco años para compensar el precio más elevado de la configuración de inversor central y si cogiéramos los valores del 2009, 41,85 €/MWh, necesitaríamos casi seis años y medio para cubrir la diferencia de precio con la configuración de inversor de rama.

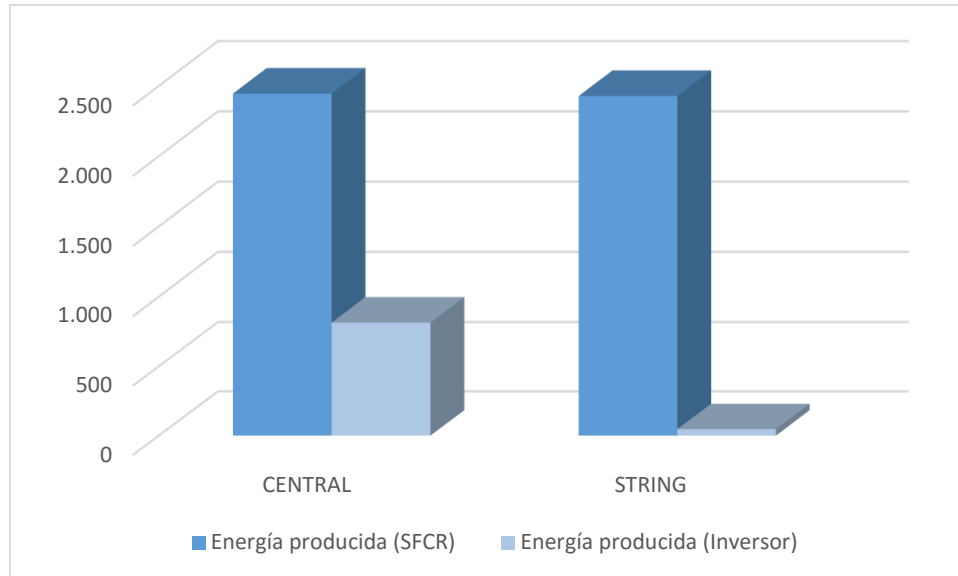
El inversor de la configuración de inversor central tiene una eficiencia mayor respecto al inversor de la configuración de inversor de rama del 0,69%, 94,88 % frente a 97,75%, por lo que esta pequeña diferencia de eficiencia no parece compensar el mayor precio de la configuración de inversor central.

Como se ha comentado a corto plazo es más económica la configuración de inversor de rama pues la inversión necesaria es menor, pero a medio largo plazo también lo sería, pues aunque los inversores elegidos son de buena calidad y tienen una garantía de siete años, es previsible que den fallos y el más común está en la etapa de potencia. Una etapa de potencia del Fronius Agilo TL 460.0-3, inversor central, tiene un precio de 10.000,00 €, mientras que la etapa de potencia del Fronius Eco 25.0-3-S, inversor de rama, tiene un precio de 700,00 €, por lo que el coste de la avería del inversor central es equivalente a 14,29 inversores de rama, de modo que deberían estropearse quince inversores de rama para que el coste de avería fuera superior a un inversor central.

Además de la diferencia de precio, también tenemos la diferencia energía que genera cada inversor en las diferentes configuraciones de etapa de conversión de corriente. En la configuración de inversor central, cada inversor genera 815,02 MWh/año, mientras que en la configuración de inversor de rama, cada inversor genera 46,69 MWh/año. Esto



supone que si en la configuración de inversor central tenemos una avería perderíamos un tercio de la producción del SFCR.



**Gráfico 4.5: Energía generada en el campo y por inversor en ambas configuraciones.**

Si traducimos estos valores de generación a semanales tenemos que cada inversor de la configuración central genera 15,63 MWh/semana, esto supone casi la diferencia de generación de energía anual entre ambas configuraciones, pues la configuración de inversor central genera 17 MWh/año más que la configuración de inversor de rama, lo que implica que teniendo una semana parada un inversor en la configuración de inversor central perderíamos el beneficio energético anual de tener una configuración de inversor central. Cada inversor de la configuración de inversor de rama genera 0,90 MWh/semana. Asumiendo el precio de venta de la energía eléctrica en 63 €/MW tendríamos una pérdida semanal de 984,73 €/semana en la configuración de inversor central y de 56,41 €/semana en la configuración de inversor de rama.

Para igualar las pérdidas por avería de un inversor en la configuración de inversor central, deberían fallar simultáneamente más de diecisiete inversores en la configuración de inversor de rama, aparte de existir una baja probabilidad de que esto ocurra, con la diferencia de precio entre ambas configuraciones, 4.620,00 € casi se podrían comprar dos inversores Fronius Eco 25.0-3-S, inversor de rama, que tendrían un coste de 4.800,00 € y tendríamos cubierta la avería de dos inversores sin tiempo de espera, es decir, sin pérdidas de generación.

A la vista de estos datos podemos concluir que para un SFCR de 1,5 MW la mejor elección es la configuración de inversor de rama. Así mismo podemos extrapolar los resultados y concluir que el número de inversores no debe ser pequeño, pues se corre el



riesgo, en caso de fallo de un inversor, de perder gran parte de la potencia del campo fotovoltaico.

## BIBLIOGRAFÍA

### Libros

"Técnicas y Procesos en las Instalaciones Singulares en los Edificios." Autor: Isidoro Gormaz González

"Instalaciones solares fotovoltaicas." Autor: José Luis Valentín Labarta

"Energías renovables: Energía, Agua, Medioambiente, territorialidad y Sostenibilidad." Autor: Xavier Elías Castells

"Fundamentos de la conversión fotovoltaica: La célula solar." Autor: Antonio Martín

"Fundamentos de inversores." Autor: J. A. Domínguez

### Estudios

"Estudio del Impacto Macroeconómico de las Energías Renovables en España en 2014." Autor: <http://www.appa.es>

"Renewable power generation costs in 2014". Autor: IRENA

"Unidad 1: Componentes de una instalación fotovoltaica." Autor: <http://assets.mheducation.es>

### Páginas web

<http://ec.europa.eu/energy/en/statistics>

<http://edii.uclm.es>

<http://ingemecanica.com>

[http://portal.uc3m.es/portal/page/portal/grupos\\_investigacion/gsep/auditorias\\_fotovoltaicas](http://portal.uc3m.es/portal/page/portal/grupos_investigacion/gsep/auditorias_fotovoltaicas)

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>

<http://www.aros-solar.com>

<http://www.cleanergysolar.com>

[http://www.endesaeduca.com/Endesa\\_educa](http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa)

<http://www.enerpoint.es>

<http://www.etitudela.com>

<http://www.gobiernodecanarias.org/ceic/industria>

<http://www.idae.es>

<http://www.motovario.com>

<http://www.omie.es>

<http://www.ujaen.es>

<https://eosweb.larc.nasa.gov>

## ANEXO 1:



### Photovoltaic Geographical Information System

European Commission  
Joint Research Centre  
Ispra, Italy

### Incident global irradiation for the chosen location

Location: 41°48'17" North, 6°15'27" West, Elevation: 814 m a.s.l.,

Optimal inclination angle is: 35 degrees

Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.1 %

| Month | Hh   | Hopt | H(35) | lopt | TD   |
|-------|------|------|-------|------|------|
| Jan   | 1760 | 2870 | 2870  | 62   | 5.5  |
| Feb   | 2960 | 4550 | 4550  | 57   | 6.8  |
| Mar   | 4430 | 5660 | 5660  | 44   | 9.4  |
| Apr   | 5310 | 5810 | 5810  | 29   | 11.5 |
| May   | 6530 | 6400 | 6400  | 15   | 15.4 |
| Jun   | 7550 | 7020 | 7020  | 8    | 20.4 |
| Jul   | 7860 | 7490 | 7490  | 12   | 22.3 |
| Aug   | 6870 | 7290 | 7290  | 24   | 22.6 |
| Sep   | 5220 | 6470 | 6470  | 40   | 19.6 |
| Oct   | 3430 | 4910 | 4910  | 53   | 14.2 |
| Nov   | 2170 | 3560 | 3560  | 61   | 8.8  |
| Dec   | 1630 | 2870 | 2870  | 65   | 5.4  |
| Year  | 4650 | 5410 | 5410  | 35   | 13.5 |

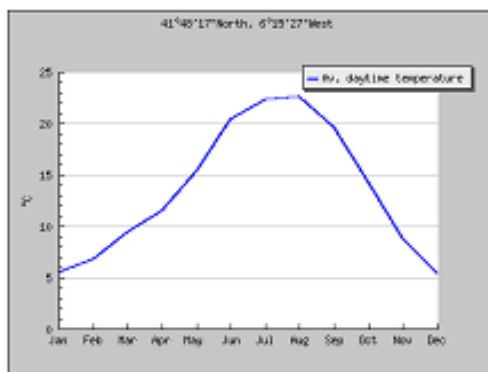
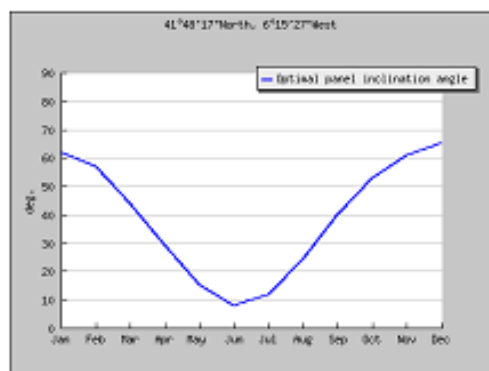
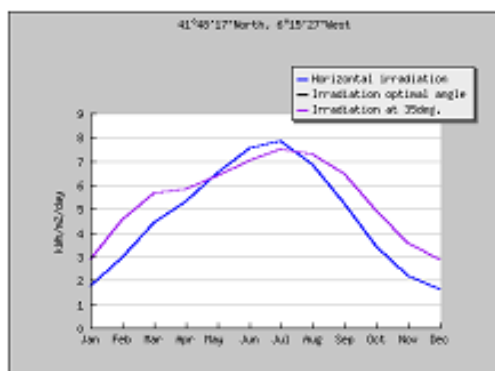
Hh: Irradiation on horizontal plane (Wh/m<sup>2</sup>/day)

Hopt: Irradiation on optimally inclined plane (Wh/m<sup>2</sup>/day)

H(35): Irradiation on plane at angle: 35deg. (Wh/m<sup>2</sup>/day)

lopt: Optimal inclination (deg.)

TD: Average daytime temperature (°C)



PVGIS (c) European Communities, 2001-2012

Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged.

<http://he.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

#### Disclaimer:


The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. However the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

This information is:

- of a general nature only and is not intended to address the specific circumstances of any particular individual or entity;
- not necessarily comprehensive, complete, accurate or up to date;
- not professional or legal advice (if you need specific advice, you should always consult a suitably qualified professional).

Some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.

## ANEXO 2:

|   |              |                                  |          |            |
|---|--------------|----------------------------------|----------|------------|
|  | PVSYST V5.55 | Universidad Carlos III de Madrid | 12/10/15 | Página 1/4 |
|---|--------------|----------------------------------|----------|------------|

**Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación**

**Proyecto :** **PFC SFCR 1,5 MWp**

**Lugar geográfico** **San Vicente de la Cabeza** **País** **España**

**Ubicación** **Latitud** 41.8°N **Longitud** 6.2°E

**Hora definido como** **Hora Legal** **Huso hor.** UT+1 **Altitud** 814 m

**Albedo, valores mensuales**

|        | Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Albedo | 0.26 | 0.26 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.26 | 0.26 |

**Datos climatológicos :** San Vicente de la Cabeza, Síntesis datos por hora

**Variante de simulación :** **PFC\_central**

**Fecha de simulación** 12/10/15 20h13

**Parámetros de la simulación**

**Orientación Plano Receptor** **Inclinación** 35° **Acimut** 0°

**Perfil obstáculos** Sin perfil de obstáculos

**Sombras cercanas** Sin sombreado

**Características generador FV**

**Módulo FV** Si-poly **Modelo** **A-230 P**

**Número de módulos FV** **Fabricante** Atersa **En paralelo** 272 cadenas

**Nº total de módulos FV** **En serie** 24 módulos **Pnom unitaria** 230 Wp

**Potencia global generador** **Nº módulos** 6528 **En cond. funciona.** 1355 kWp (50°C)

**Caract. funcionamiento del generador (50°C)** **Nominal (STC)** **1501 kWp** **I mpp** 2045 A

**Superficie total** **V mpp** 663 V **Superficie célula** 9532 m²

**Superficie módulos** **10631 m²**

**Inversor** **Modelo** **Agilo TL 460.0-3**

**Características** **Fabricante** Fronius **Pnom unitaria** 460 kW AC

**Banco de inversores** **Tensión Funciona.** 600-820 V **Potencia total** 1380 kW AC

**Nº de inversores** 3 unidades

**Factores de pérdida Generador FV**

**Factor de pérdidas térmicas** **Uc (const)** 20.0 W/m²K **Uv (viento)** 0.0 W/m²K / m/s

**=> Temp. Opera. Nom. Cél. (G=800 W/m², Tamb=20° C, Viento=1m/s)** **TONC** 56 °C

**Pérdida Óhmica en el Cableado** **Res. global generador** 5.4 mOhm **Fracción de Pérdidas** 1.5 % en STC

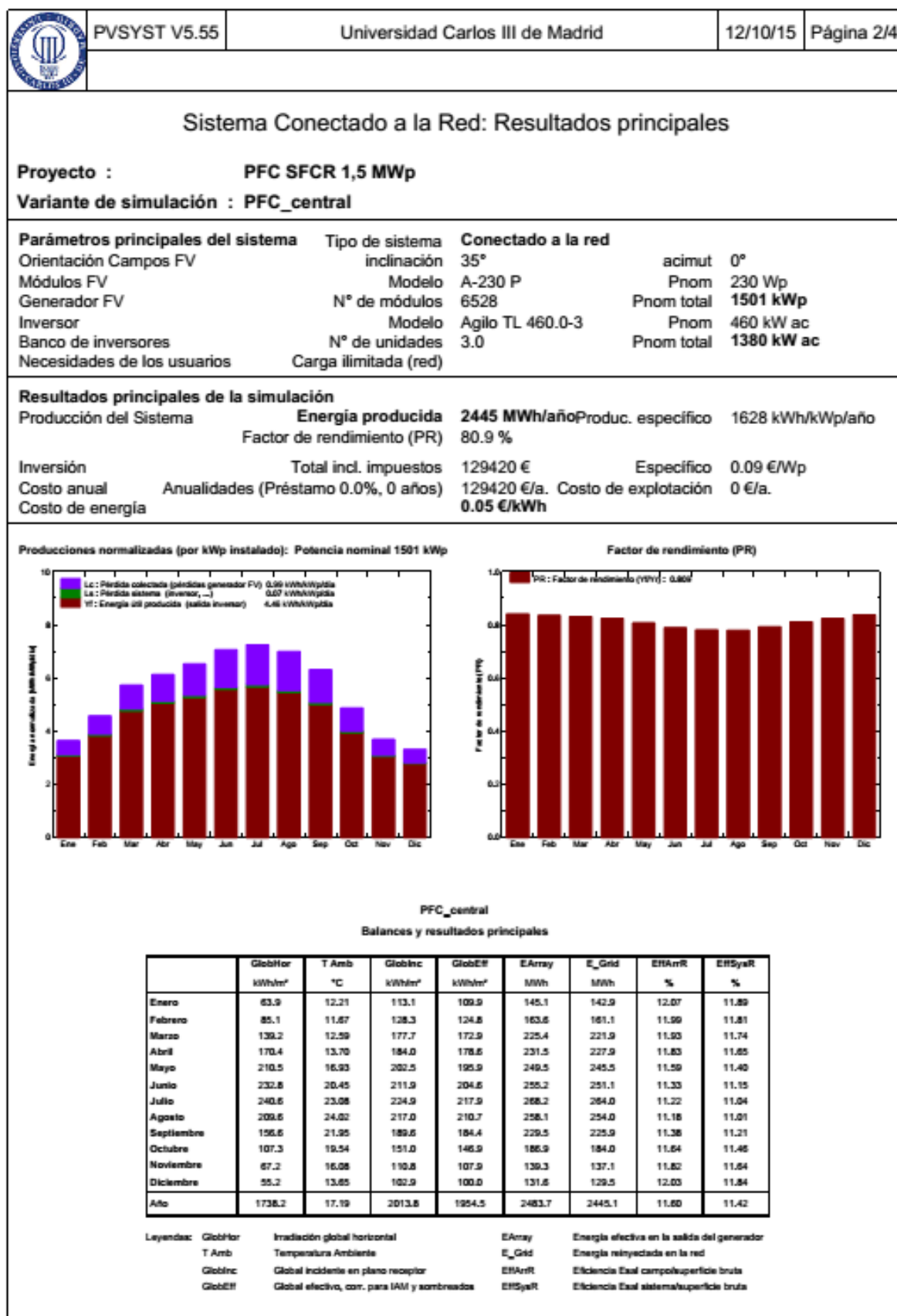
**Pérdida Calidad Módulo** **Fracción de Pérdidas** 1.0 %

**Pérdidas Mismatch Módulos** **Fracción de Pérdidas** 2.0 % en MPP

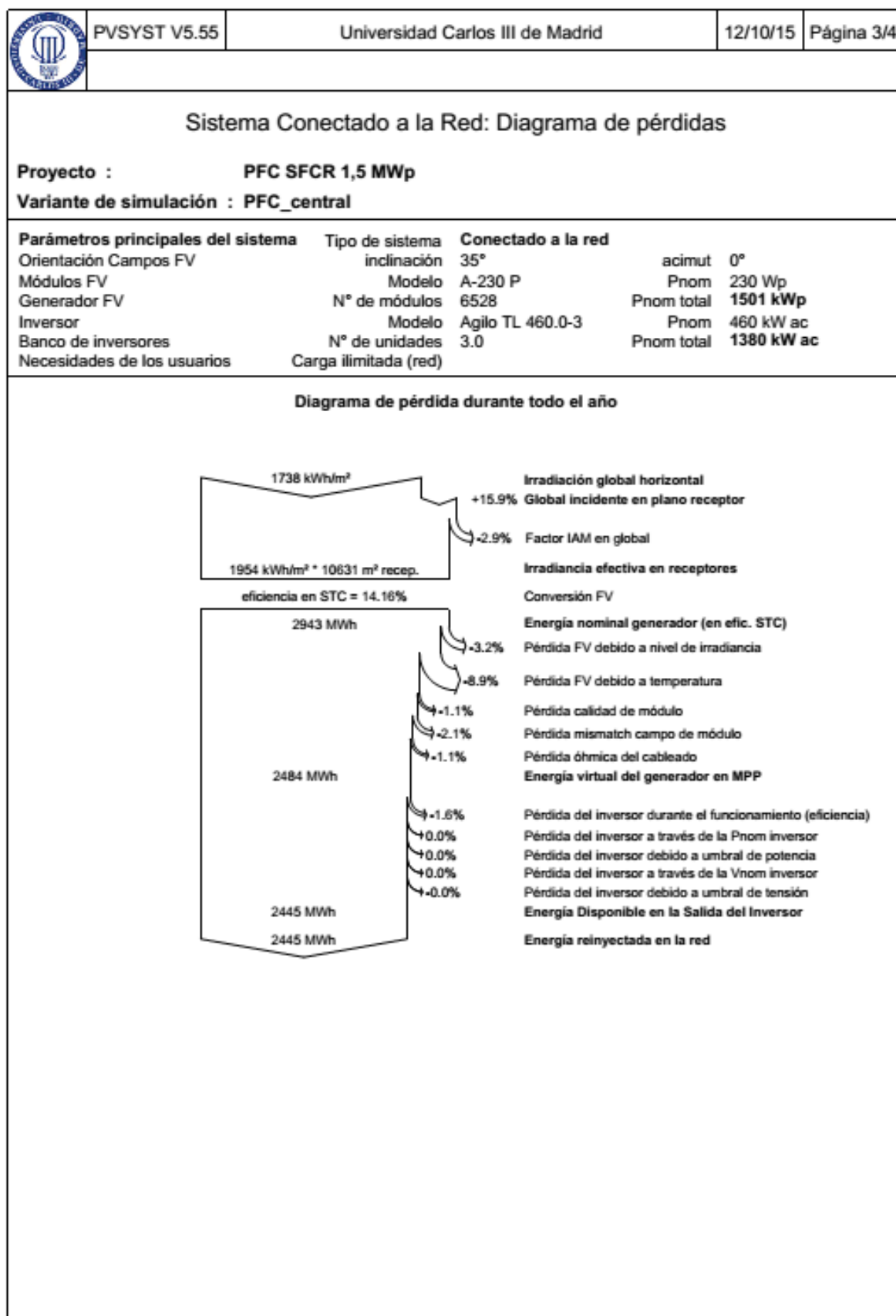
**Efecto de incidencia, parametrización ASHRAE** **IAM =** 1 - bo (1/cos i - 1) **Parámetro bo** 0.05


**Necesidades de los usuarios :** Carga ilimitada (red)

Traducción sin garantía. Sólo el texto inglés está garantizado.








|  |                       |                                  |            |            |                                    |                 |                               |                                    |                      |                       |                           |     |                               |            |                  |          |  |      |          |  |                       |              |   |          |                         |                   |                  |              |                                 |                     |                |          |            |            |                             |                       |  |  |  |
|--|-----------------------|----------------------------------|------------|------------|------------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------------|-----|-------------------------------|------------|------------------|----------|--|------|----------|--|-----------------------|--------------|---|----------|-------------------------|-------------------|------------------|--------------|---------------------------------|---------------------|----------------|----------|------------|------------|-----------------------------|-----------------------|--|--|--|
|   | PVSYST V5.55          | Universidad Carlos III de Madrid | 12/10/15   | Página 4/4 |                                    |                 |                               |                                    |                      |                       |                           |     |                               |            |                  |          |  |      |          |  |                       |              |   |          |                         |                   |                  |              |                                 |                     |                |          |            |            |                             |                       |  |  |  |
| <div>Sistema Conectado a la Red: Evaluación económica</div> <div>Proyecto : PFC SFCR 1,5 MWp</div> <div>Variante de simulación : PFC_central</div>   |                       |                                  |            |            |                                    |                 |                               |                                    |                      |                       |                           |     |                               |            |                  |          |  |      |          |  |                       |              |   |          |                         |                   |                  |              |                                 |                     |                |          |            |            |                             |                       |  |  |  |
| <table><tr><td>Parámetros principales del sistema</td><td>Tipo de sistema</td><td colspan="3">Conectado a la red</td></tr><tr><td>Orientación Campos FV</td><td>inclinación</td><td>35°</td><td>acimut</td><td>0°</td></tr><tr><td>Módulos FV</td><td>Modelo</td><td>A-230 P</td><td>Pnom</td><td>230 Wp</td></tr><tr><td>Generador FV</td><td>N° de módulos</td><td>6528</td><td>Pnom total</td><td>1501 kWp</td></tr><tr><td>Inversor</td><td>Modelo</td><td>Agilo TL 460.0-3</td><td>Pnom</td><td>460 kW ac</td></tr><tr><td>Banco de inversores</td><td>N° de unidades</td><td>3.0</td><td>Pnom total</td><td>1380 kW ac</td></tr><tr><td>Necesidades de los usuarios</td><td>Carga ilimitada (red)</td><td colspan="3"></td></tr></table> |                       |                                  |            |            | Parámetros principales del sistema | Tipo de sistema | Conectado a la red            |                                    |                      | Orientación Campos FV | inclinación               | 35° | acimut                        | 0°         | Módulos FV       | Modelo   | A-230 P                                    | Pnom | 230 Wp   | Generador FV                               | N° de módulos         | 6528         | Pnom total  | 1501 kWp | Inversor                | Modelo            | Agilo TL 460.0-3 | Pnom         | 460 kW ac                       | Banco de inversores | N° de unidades | 3.0      | Pnom total | 1380 kW ac | Necesidades de los usuarios | Carga ilimitada (red) |  |  |  |
| Parámetros principales del sistema   | Tipo de sistema       | Conectado a la red               |            |            |                                    |                 |                               |                                    |                      |                       |                           |     |                               |            |                  |          |  |      |          |  |                       |              |   |          |                         |                   |                  |              |                                 |                     |                |          |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Orientación Campos FV  | inclinación           | 35°                              | acimut     | 0°         |                                    |                 |                               |                                    |                      |                       |                           |     |                               |            |                  |          |  |      |          |  |                       |              |   |          |                         |                   |                  |              |                                 |                     |                |          |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Módulos FV   | Modelo                | A-230 P                          | Pnom       | 230 Wp     |                                    |                 |                               |                                    |                      |                       |                           |     |                               |            |                  |          |  |      |          |  |                       |              |   |          |                         |                   |                  |              |                                 |                     |                |          |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Generador FV   | N° de módulos         | 6528                             | Pnom total | 1501 kWp   |                                    |                 |                               |                                    |                      |                       |                           |     |                               |            |                  |          |  |      |          |  |                       |              |   |          |                         |                   |                  |              |                                 |                     |                |          |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Inversor   | Modelo                | Agilo TL 460.0-3                 | Pnom       | 460 kW ac  |                                    |                 |                               |                                    |                      |                       |                           |     |                               |            |                  |          |  |      |          |  |                       |              |   |          |                         |                   |                  |              |                                 |                     |                |          |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Banco de inversores  | N° de unidades        | 3.0                              | Pnom total | 1380 kW ac |                                    |                 |                               |                                    |                      |                       |                           |     |                               |            |                  |          |  |      |          |  |                       |              |   |          |                         |                   |                  |              |                                 |                     |                |          |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Necesidades de los usuarios  | Carga ilimitada (red) |                                  |            |            |                                    |                 |                               |                                    |                      |                       |                           |     |                               |            |                  |          |  |      |          |  |                       |              |   |          |                         |                   |                  |              |                                 |                     |                |          |            |            |                             |                       |  |  |  |
| <div>Inversión</div> <table><tr><td>Módulos FV (Pnom = 230 Wp)</td><td>6528 unidades</td><td>0 € / unidad</td><td>0 €</td></tr><tr><td>Soportes/Integración</td><td></td><td>0 € / módulo</td><td>0 €</td></tr><tr><td>Inversores (Pnom = 460 kW ac)</td><td>3 unidades</td><td>38640 € / unidad</td><td>115920 €</td></tr><tr><td>Ajustes, cableado, ...</td><td></td><td></td><td>0 €</td></tr><tr><td>Caja de concentración</td><td></td><td></td><td>13500 €</td></tr><tr><td>Sustitución subestimada</td><td></td><td></td><td>-0 €</td></tr><tr><td>Inversión bruta (sin impuestos)</td><td></td><td></td><td>129420 €</td></tr></table>   |                       |                                  |            |            | Módulos FV (Pnom = 230 Wp)         | 6528 unidades   | 0 € / unidad                  | 0 €                                | Soportes/Integración |                       | 0 € / módulo              | 0 € | Inversores (Pnom = 460 kW ac) | 3 unidades | 38640 € / unidad | 115920 € | Ajustes, cableado, ...                     |      |          | 0 €  | Caja de concentración |              |   | 13500 €  | Sustitución subestimada |                   |                  | -0 €         | Inversión bruta (sin impuestos) |                     |                | 129420 € |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Módulos FV (Pnom = 230 Wp)   | 6528 unidades         | 0 € / unidad                     | 0 €        |            |                                    |                 |                               |                                    |                      |                       |                           |     |                               |            |                  |          |  |      |          |  |                       |              |   |          |                         |                   |                  |              |                                 |                     |                |          |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Soportes/Integración   |                       | 0 € / módulo                     | 0 €        |            |                                    |                 |                               |                                    |                      |                       |                           |     |                               |            |                  |          |  |      |          |  |                       |              |   |          |                         |                   |                  |              |                                 |                     |                |          |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Inversores (Pnom = 460 kW ac)  | 3 unidades            | 38640 € / unidad                 | 115920 €   |            |                                    |                 |                               |                                    |                      |                       |                           |     |                               |            |                  |          |  |      |          |  |                       |              |   |          |                         |                   |                  |              |                                 |                     |                |          |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Ajustes, cableado, ...   |                       |                                  | 0 €        |            |                                    |                 |                               |                                    |                      |                       |                           |     |                               |            |                  |          |  |      |          |  |                       |              |   |          |                         |                   |                  |              |                                 |                     |                |          |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Caja de concentración  |                       |                                  | 13500 €    |            |                                    |                 |                               |                                    |                      |                       |                           |     |                               |            |                  |          |  |      |          |  |                       |              |   |          |                         |                   |                  |              |                                 |                     |                |          |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Sustitución subestimada  |                       |                                  | -0 €       |            |                                    |                 |                               |                                    |                      |                       |                           |     |                               |            |                  |          |  |      |          |  |                       |              |   |          |                         |                   |                  |              |                                 |                     |                |          |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Inversión bruta (sin impuestos)  |                       |                                  | 129420 €   |            |                                    |                 |                               |                                    |                      |                       |                           |     |                               |            |                  |          |  |      |          |  |                       |              |   |          |                         |                   |                  |              |                                 |                     |                |          |            |            |                             |                       |  |  |  |
| <div>Financiamiento</div> <table><tr><td>Inversión bruta (sin impuestos)</td><td></td><td>129420 €</td></tr><tr><td>Impuestos sobre la inversión (IVA)</td><td>Tasa 0.0 %</td><td>0 €</td></tr><tr><td>Inversión bruta (con IVA)</td><td></td><td>129420 €</td></tr><tr><td>Subsidios</td><td></td><td>-0 €</td></tr><tr><td>Inversión neta (todos impuestos incluidos)</td><td></td><td>129420 €</td></tr><tr><td>Anualidades ( Préstamo 0.0 % sobre 0 años)</td><td></td><td>129420 €/año</td></tr><tr><td>Costos de explotación anuales: mantenimiento, seguros ...</td><td></td><td>0 €/año</td></tr><tr><td>Costo total anual</td><td></td><td>129420 €/año</td></tr></table>   |                       |                                  |            |            | Inversión bruta (sin impuestos)    |                 | 129420 €                      | Impuestos sobre la inversión (IVA) | Tasa 0.0 %           | 0 €                   | Inversión bruta (con IVA) |     | 129420 €                      | Subsidios  |                  | -0 €     | Inversión neta (todos impuestos incluidos) |      | 129420 € | Anualidades ( Préstamo 0.0 % sobre 0 años) |                       | 129420 €/año | Costos de explotación anuales: mantenimiento, seguros ... |          | 0 €/año                 | Costo total anual |                  | 129420 €/año |                                 |                     |                |          |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Inversión bruta (sin impuestos)  |                       | 129420 €                         |            |            |                                    |                 |                               |                                    |                      |                       |                           |     |                               |            |                  |          |  |      |          |  |                       |              |   |          |                         |                   |                  |              |                                 |                     |                |          |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Impuestos sobre la inversión (IVA)   | Tasa 0.0 %            | 0 €                              |            |            |                                    |                 |                               |                                    |                      |                       |                           |     |                               |            |                  |          |  |      |          |  |                       |              |   |          |                         |                   |                  |              |                                 |                     |                |          |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Inversión bruta (con IVA)  |                       | 129420 €                         |            |            |                                    |                 |                               |                                    |                      |                       |                           |     |                               |            |                  |          |  |      |          |  |                       |              |   |          |                         |                   |                  |              |                                 |                     |                |          |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Subsidios  |                       | -0 €                             |            |            |                                    |                 |                               |                                    |                      |                       |                           |     |                               |            |                  |          |  |      |          |  |                       |              |   |          |                         |                   |                  |              |                                 |                     |                |          |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Inversión neta (todos impuestos incluidos)   |                       | 129420 €                         |            |            |                                    |                 |                               |                                    |                      |                       |                           |     |                               |            |                  |          |  |      |          |  |                       |              |   |          |                         |                   |                  |              |                                 |                     |                |          |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Anualidades ( Préstamo 0.0 % sobre 0 años)   |                       | 129420 €/año                     |            |            |                                    |                 |                               |                                    |                      |                       |                           |     |                               |            |                  |          |  |      |          |  |                       |              |   |          |                         |                   |                  |              |                                 |                     |                |          |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Costos de explotación anuales: mantenimiento, seguros ...  |                       | 0 €/año                          |            |            |                                    |                 |                               |                                    |                      |                       |                           |     |                               |            |                  |          |  |      |          |  |                       |              |   |          |                         |                   |                  |              |                                 |                     |                |          |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Costo total anual  |                       | 129420 €/año                     |            |            |                                    |                 |                               |                                    |                      |                       |                           |     |                               |            |                  |          |  |      |          |  |                       |              |   |          |                         |                   |                  |              |                                 |                     |                |          |            |            |                             |                       |  |  |  |
| <div>Costo de energía</div> <table><tr><td>Energía producida</td><td>2445 MWh / año</td></tr><tr><td>Costo de la energía producida</td><td>0.05 € / kWh</td></tr></table>  |                       |                                  |            |            | Energía producida                  | 2445 MWh / año  | Costo de la energía producida | 0.05 € / kWh                       |                      |                       |                           |     |                               |            |                  |          |  |      |          |  |                       |              |   |          |                         |                   |                  |              |                                 |                     |                |          |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Energía producida  | 2445 MWh / año        |                                  |            |            |                                    |                 |                               |                                    |                      |                       |                           |     |                               |            |                  |          |  |      |          |  |                       |              |   |          |                         |                   |                  |              |                                 |                     |                |          |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Costo de la energía producida  | 0.05 € / kWh          |                                  |            |            |                                    |                 |                               |                                    |                      |                       |                           |     |                               |            |                  |          |  |      |          |  |                       |              |   |          |                         |                   |                  |              |                                 |                     |                |          |            |            |                             |                       |  |  |  |
|  |                       |                                  |            |            |                                    |                 |                               |                                    |                      |                       |                           |     |                               |            |                  |          |  |      |          |  |                       |              |   |          |                         |                   |                  |              |                                 |                     |                |          |            |            |                             |                       |  |  |  |

### ANEXO 3:

|   |              |                                  |          |            |
|---|--------------|----------------------------------|----------|------------|
|  | PVSYST V5.55 | Universidad Carlos III de Madrid | 13/10/15 | Página 1/4 |
|---|--------------|----------------------------------|----------|------------|

**Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación**

**Proyecto :** **PFC SFCR 1,5 MWp**

**Lugar geográfico** **San Vicente de la Cabeza** **País** **España**

**Ubicación** **Latitud** 41.8°N **Longitud** 6.2°E

**Hora definido como** **Hora Legal** **Huso hor.** UT+1 **Altitud** 814 m

**Albedo, valores mensuales**

|        | Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Albedo | 0.26 | 0.26 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.26 | 0.26 |

**Datos climatológicos :** San Vicente de la Cabeza, Síntesis datos por hora

**Variante de simulación :** **PFC\_string**

**Fecha de simulación** 13/10/15 00h42

**Parámetros de la simulación**

**Orientación Plano Receptor** **Inclinación** 35° **Acimut** 0°

**Perfil obstáculos** Sin perfil de obstáculos

**Sombras cercanas** Sin sombreado

**Características generador FV**

**Módulo FV** Si-poly **Modelo** **A-230 P**

**Número de módulos FV** **Fabricante** Atersa **En paralelo** 272 cadenas

**Nº total de módulos FV** **En serie** 24 módulos **Pnom unitaria** 230 Wp

**Potencia global generador** **Nº módulos** 6528 **En cond. funciona.** 1355 kWp (50°C)

**Caract. funcionamiento del generador (50°C)** **Nominal (STC)** **1501 kWp** **I mpp** 2045 A

**Superficie total** **V mpp** 663 V **Superficie célula** 9532 m²

**Superficie módulos** **10631 m²**

**Inversor** **Modelo** **Fronius Eco25.0-3**

**Características** **Fabricante** Fronius **Pnom unitaria** 25.0 kW AC

**Banco de inversores** **Tensión Funciona.** 580-850 V **Potencia total** 1300.0 kW AC

**Nº de inversores** 52 unidades

**Factores de pérdida Generador FV**

**Factor de pérdidas térmicas** **Uc (const)** 20.0 W/m²K **Uv (viento)** 0.0 W/m²K / m/s

**=> Temp. Opera. Nom. Cél. (G=800 W/m², Tamb=20° C, Viento=1m/s)** **TONC** 56 °C

**Pérdida Óhmica en el Cableado** **Res. global generador** 5.4 mOhm **Fracción de Pérdidas** 1.5 % en STC

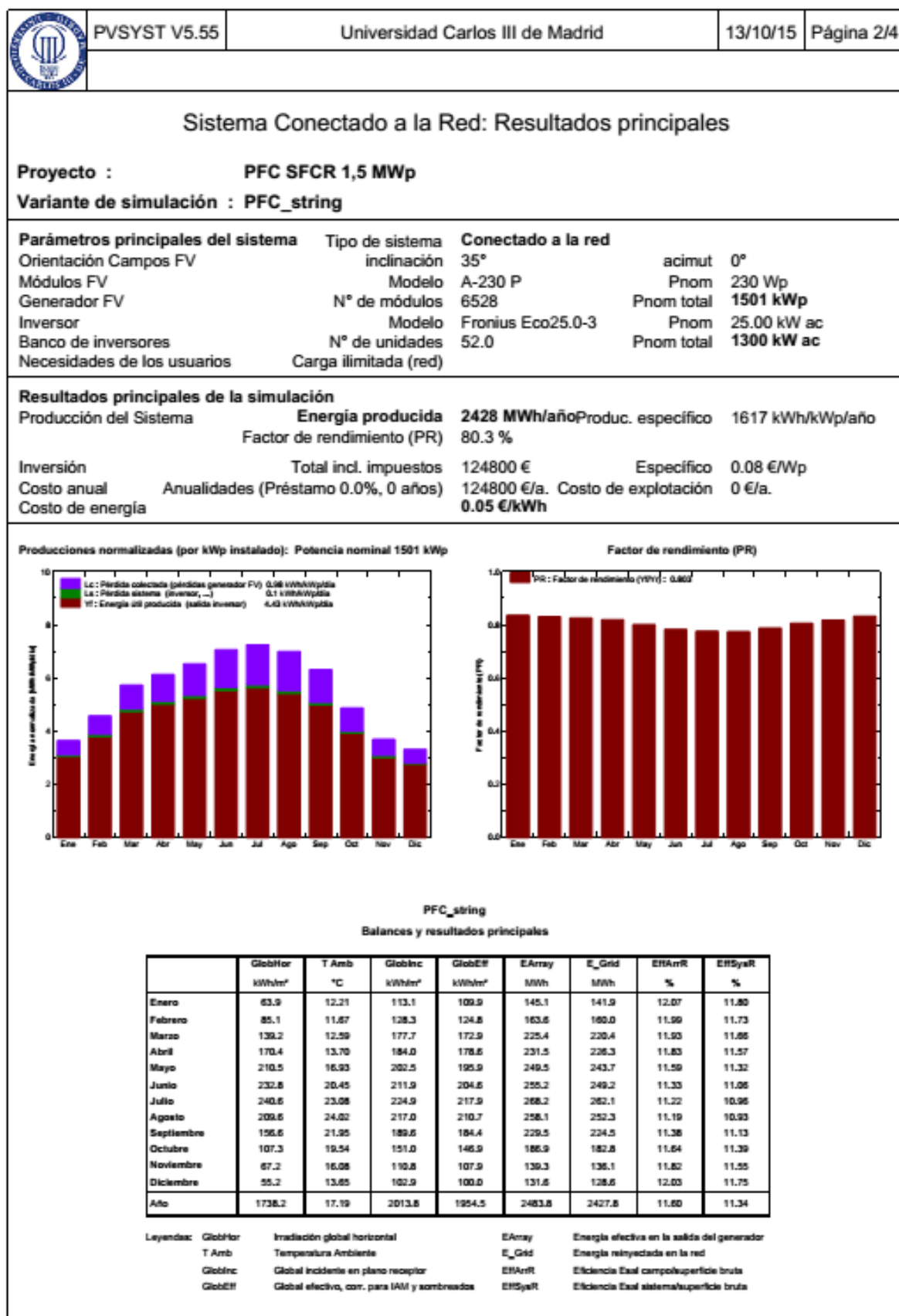
**Pérdida Calidad Módulo** **Fracción de Pérdidas** 1.0 %

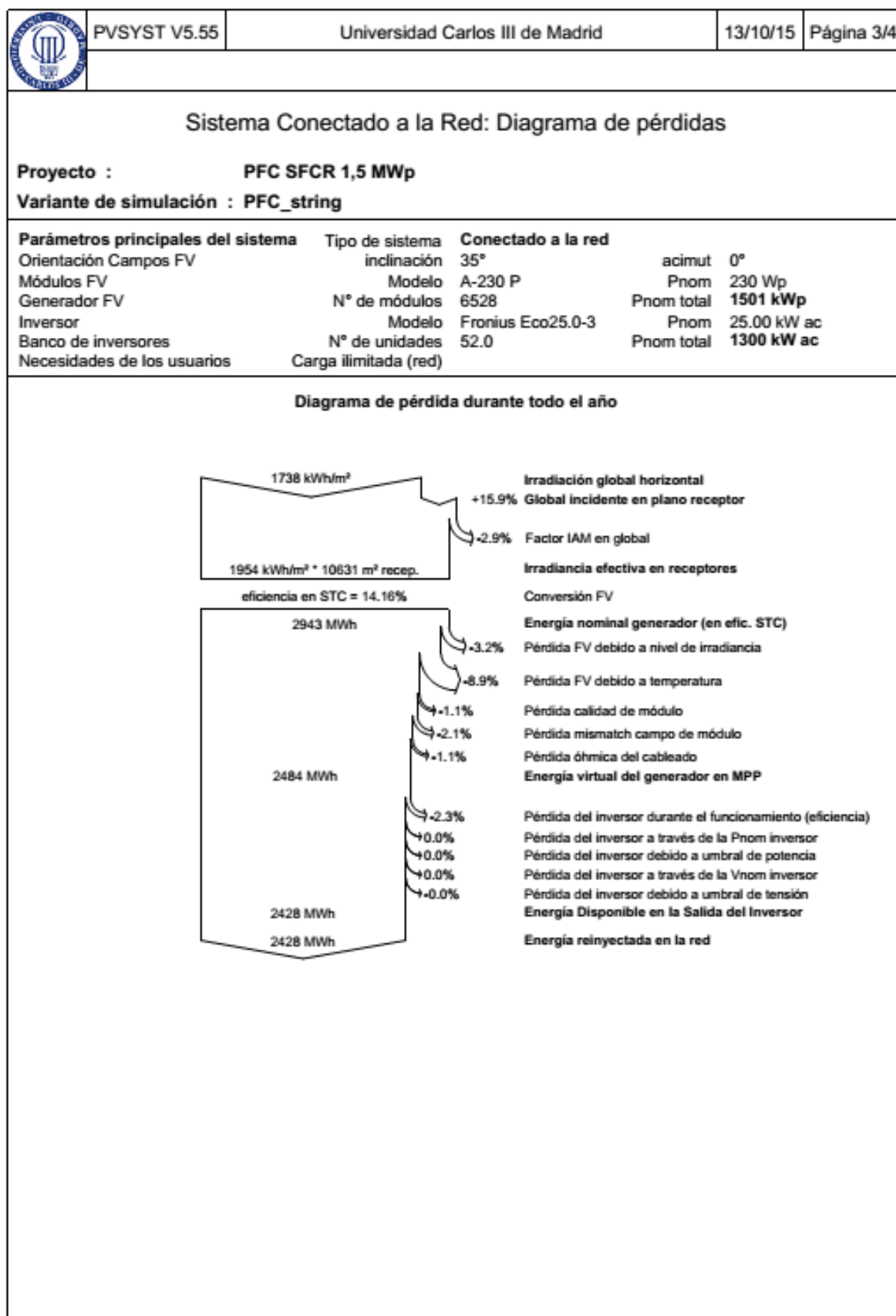
**Pérdidas Mismatch Módulos** **Fracción de Pérdidas** 2.0 % en MPP


**Efecto de incidencia, parametrización ASHRAE** **IAM =** 1 - bo (1/cos i - 1) **Parámetro bo** 0.05

**Necesidades de los usuarios :** Carga ilimitada (red)

Traducción sin garantía. Sólo el texto inglés está garantizado.







PVSYST V5.55

Universidad Carlos III de Madrid

13/10/15

Página 4/4

Sistema Conectado a la Red: Evaluación económica

Proyecto :

PFC SFCR 1,5 MWp

Variante de simulación :

PFC\_string

|                                    |                       |                    |                       |
|------------------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|
| Parámetros principales del sistema | Tipo de sistema       | Conectado a la red |                       |
| Orientación Campos FV              | inclinación           | 35°                | acimut 0°             |
| Módulos FV                         | Modelo                | A-230 P            | Pnom 230 Wp           |
| Generador FV                       | N° de módulos         | 6528               | Pnom total 1501 kWp   |
| Inversor                           | Modelo                | Fronius Eco25.0-3  | Pnom 25.00 kW ac      |
| Banco de inversores                | N° de unidades        | 52.0               | Pnom total 1300 kW ac |
| Necesidades de los usuarios        | Carga ilimitada (red) |                    |                       |

Inversión

|                                 |               |                 |          |
|---------------------------------|---------------|-----------------|----------|
| Módulos FV (Pnom = 230 Wp)      | 6528 unidades | 0 € / unidad    | 0 €      |
| Soportes/Integración            |               | 0 € / módulo    | 0 €      |
| Inversores (Pnom = 25.0 kW ac)  | 52 unidades   | 2400 € / unidad | 124800 € |
| Ajustes, cableado, ...          |               |                 | 0 €      |
| Sustitución subestimada         |               |                 | -0 €     |
| Inversión bruta (sin impuestos) |               |                 | 124800 € |

Financiamiento


|   |                                |              |
|---|--------------------------------|--------------|
| Inversión bruta (sin impuestos)                           |                                | 124800 €     |
| Impuestos sobre la inversión (IVA)                        | Tasa 0.0 %                     | 0 €          |
| Inversión bruta (con IVA)                                 |                                | 124800 €     |
| Subsidios   |                                | -0 €         |
| Inversión neta (todos impuestos incluidos)                |                                | 124800 €     |
| Anualidades   | ( Préstamo 0.0 % sobre 0 años) | 124800 €/año |
| Costos de explotación anuales: mantenimiento, seguros ... |                                | 0 €/año      |
| Costo total anual   |                                | 124800 €/año |

Costo de energía

|                               |                |
|-------------------------------|----------------|
| Energía producida             | 2428 MWh / año |
| Costo de la energía producida | 0.05 € / kWh   |

Traducción sin garantía. Sólo el texto inglés está garantizado.

## ANEXO 4:

|   |              |                                  |          |            |
|---|--------------|----------------------------------|----------|------------|
|  | PVSYST V5.55 | Universidad Carlos III de Madrid | 12/10/15 | Página 1/4 |
|---|--------------|----------------------------------|----------|------------|

**Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación**

**Proyecto :** **PFC SFCR 1,5 MWp**

**Lugar geográfico** **San Vicente de la Cabeza** **País** **España**

**Ubicación** **Latitud** 41.8°N **Longitud** 6.2°E

**Hora definido como** **Hora Legal** **Huso hor.** UT+1 **Altitud** 814 m

**Albedo, valores mensuales**

|        | Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Albedo | 0.26 | 0.26 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.26 | 0.26 |

**Datos climatológicos :** San Vicente de la Cabeza, Síntesis datos por hora

**Variante de simulación :** **PFC\_string**

**Fecha de simulación** 12/10/15 20h09

**Parámetros de la simulación**

**Orientación Plano Receptor** **Inclinación** 35° **Acimut** 0°

**Perfil obstáculos** Sin perfil de obstáculos

**Sombras cercanas** Sin sombreado

**Características generador FV**

**Módulo FV** Si-poly **Modelo** **A-230 P**

**Número de módulos FV** **Fabricante** Atersa **En paralelo** 272 cadenas

**Nº total de módulos FV** **En serie** 24 módulos **Pnom unitaria** 230 Wp

**Potencia global generador** **Nº módulos** 6528 **En cond. funciona.** 1355 kWp (50°C)

**Caract. funcionamiento del generador (50°C)** **Nominal (STC)** **1501 kWp** **I mpp** 2045 A

**Superficie total** **V mpp** 663 V **Superficie célula** 9532 m²

**Superficie módulos** **10631 m²**

**Inversor** **Modelo** **Fronius Eco25.0-3**

**Características** **Fabricante** Fronius **Pnom unitaria** 25.0 kW AC

**Banco de inversores** **Tensión Funciona.** 580-850 V **Potencia total** 1375.0 kW AC

**Nº de inversores** 55 unidades

**Factores de pérdida Generador FV**

**Factor de pérdidas térmicas** **Uc (const)** 20.0 W/m²K **Uv (viento)** 0.0 W/m²K / m/s

**=> Temp. Opera. Nom. Cél. (G=800 W/m², Tamb=20° C, Viento=1m/s)** **TONC** 56 °C

**Pérdida Óhmica en el Cableado** **Res. global generador** 5.4 mOhm **Fracción de Pérdidas** 1.5 % en STC

**Pérdida Calidad Módulo** **Fracción de Pérdidas** 1.0 %

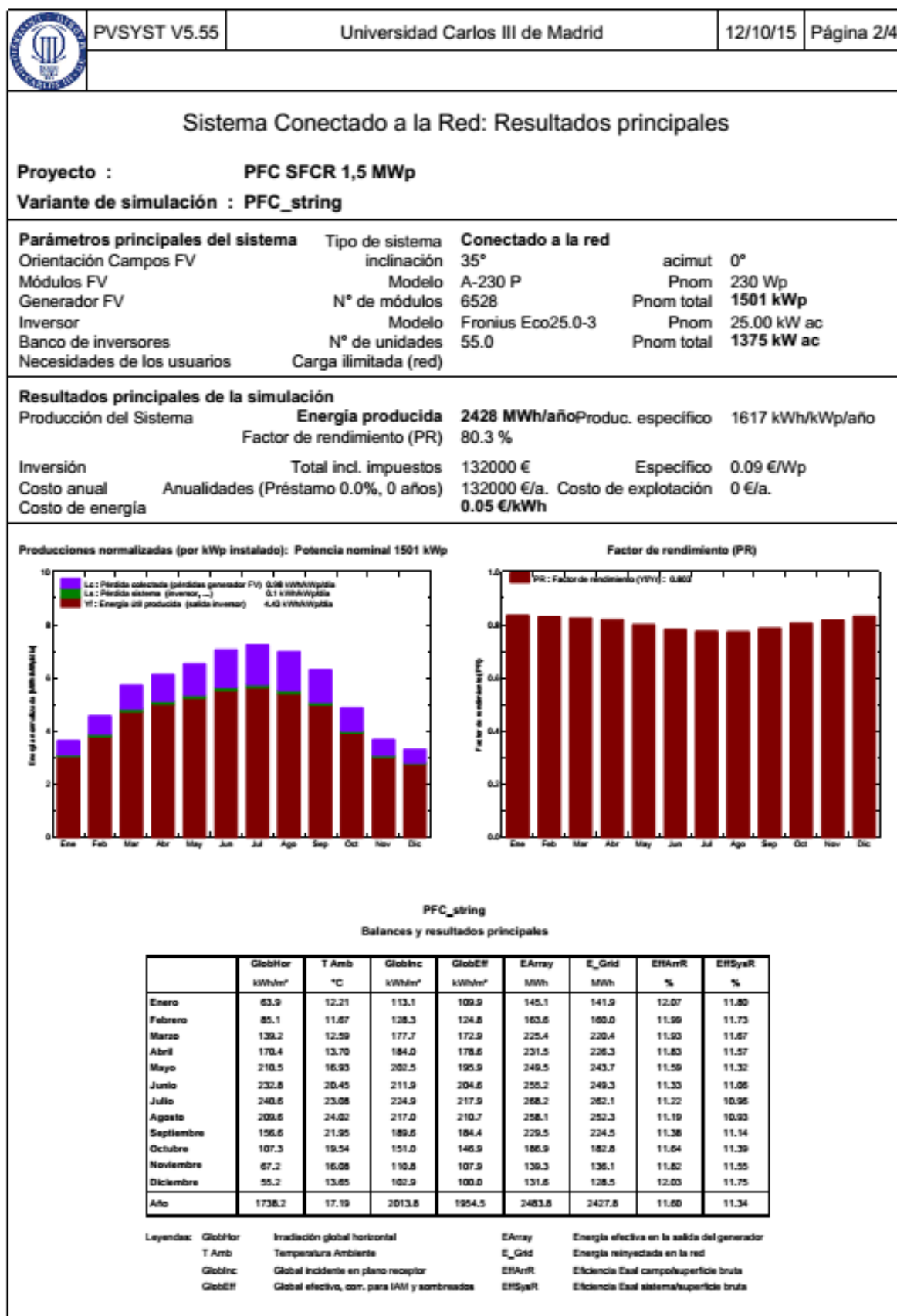
**Pérdidas Mismatch Módulos** **Fracción de Pérdidas** 2.0 % en MPP

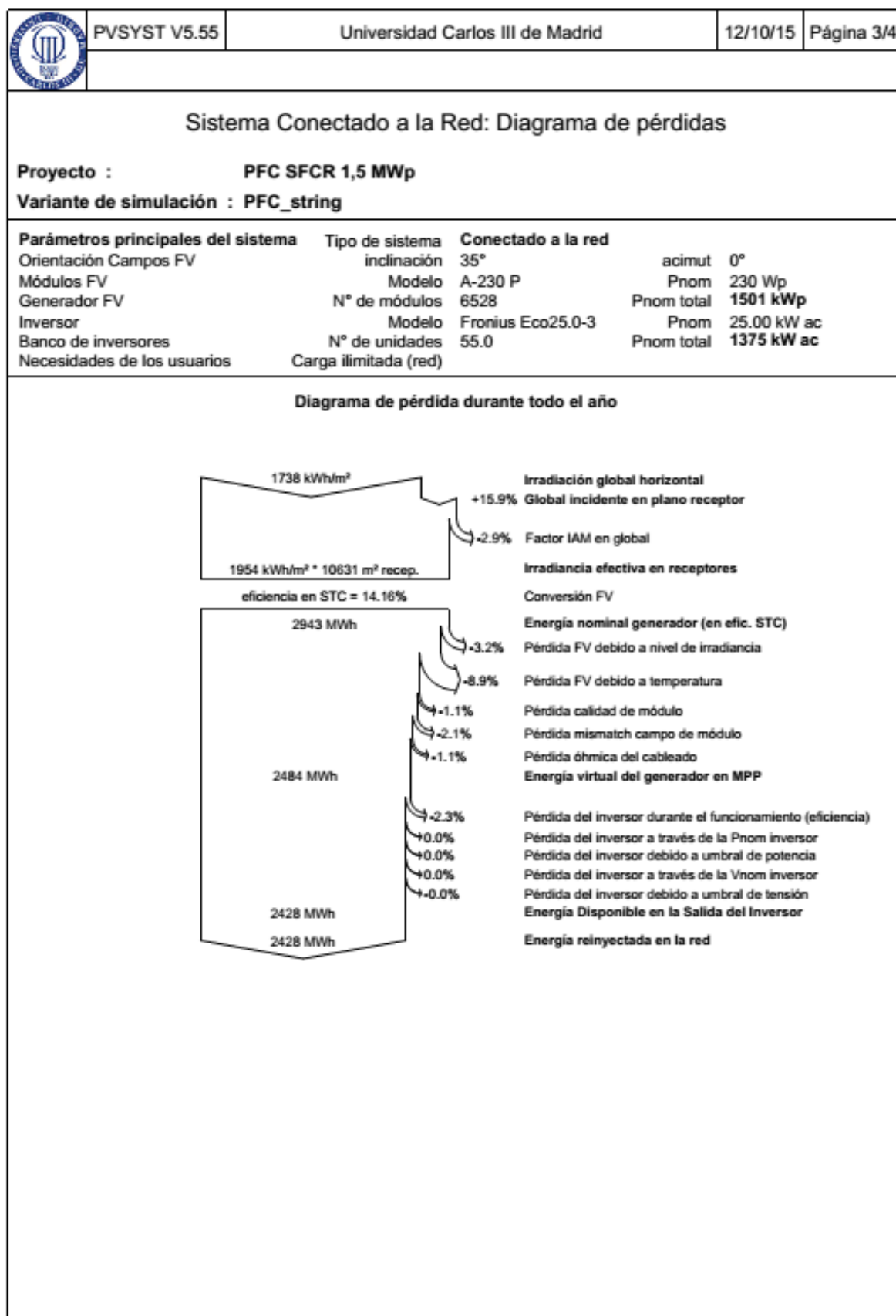
**Efecto de incidencia, parametrización ASHRAE** **IAM =** 1 - bo (1/cos i - 1) **Parámetro bo** 0.05

**Necesidades de los usuarios :** Carga ilimitada (red)

Traducción sin garantía. Sólo el texto inglés está garantizado.







|    | PVSYST V5.55                  | Universidad Carlos III de Madrid | 12/10/15   | Página 4/4     |                                    |                 |                    |  |  |                       |             |     |        |    |            |        |         |      |        |              |               |      |            |          |          |        |                   |      |             |                     |                |      |            |            |                             |                       |  |  |  |
|---|-------------------------------|----------------------------------|------------|----------------|------------------------------------|-----------------|--------------------|--|--|-----------------------|-------------|-----|--------|----|------------|--------|---------|------|--------|--------------|---------------|------|------------|----------|----------|--------|-------------------|------|-------------|---------------------|----------------|------|------------|------------|-----------------------------|-----------------------|--|--|--|
| Sistema Conectado a la Red: Evaluación económica  |                               |                                  |            |                |                                    |                 |                    |  |  |                       |             |     |        |    |            |        |         |      |        |              |               |      |            |          |          |        |                   |      |             |                     |                |      |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Proyecto : PFC SFCR 1,5 MWp   |                               |                                  |            |                |                                    |                 |                    |  |  |                       |             |     |        |    |            |        |         |      |        |              |               |      |            |          |          |        |                   |      |             |                     |                |      |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Variante de simulación : PFC_string   |                               |                                  |            |                |                                    |                 |                    |  |  |                       |             |     |        |    |            |        |         |      |        |              |               |      |            |          |          |        |                   |      |             |                     |                |      |            |            |                             |                       |  |  |  |
| <table> <tr> <th>Parámetros principales del sistema</th><th>Tipo de sistema</th><th colspan="3">Conectado a la red</th></tr> <tr> <td>Orientación Campos FV</td><td>inclinación</td><td>35°</td><td>acimut</td><td>0°</td></tr> <tr> <td>Módulos FV</td><td>Modelo</td><td>A-230 P</td><td>Pnom</td><td>230 Wp</td></tr> <tr> <td>Generador FV</td><td>N° de módulos</td><td>6528</td><td>Pnom total</td><td>1501 kWp</td></tr> <tr> <td>Inversor</td><td>Modelo</td><td>Fronius Eco25.0-3</td><td>Pnom</td><td>25.00 kW ac</td></tr> <tr> <td>Banco de inversores</td><td>N° de unidades</td><td>55.0</td><td>Pnom total</td><td>1375 kW ac</td></tr> <tr> <td>Necesidades de los usuarios</td><td>Carga ilimitada (red)</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table> |                               |                                  |            |                | Parámetros principales del sistema | Tipo de sistema | Conectado a la red |  |  | Orientación Campos FV | inclinación | 35° | acimut | 0° | Módulos FV | Modelo | A-230 P | Pnom | 230 Wp | Generador FV | N° de módulos | 6528 | Pnom total | 1501 kWp | Inversor | Modelo | Fronius Eco25.0-3 | Pnom | 25.00 kW ac | Banco de inversores | N° de unidades | 55.0 | Pnom total | 1375 kW ac | Necesidades de los usuarios | Carga ilimitada (red) |  |  |  |
| Parámetros principales del sistema  | Tipo de sistema               | Conectado a la red               |            |                |                                    |                 |                    |  |  |                       |             |     |        |    |            |        |         |      |        |              |               |      |            |          |          |        |                   |      |             |                     |                |      |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Orientación Campos FV   | inclinación                   | 35°                              | acimut     | 0°             |                                    |                 |                    |  |  |                       |             |     |        |    |            |        |         |      |        |              |               |      |            |          |          |        |                   |      |             |                     |                |      |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Módulos FV  | Modelo                        | A-230 P                          | Pnom       | 230 Wp         |                                    |                 |                    |  |  |                       |             |     |        |    |            |        |         |      |        |              |               |      |            |          |          |        |                   |      |             |                     |                |      |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Generador FV  | N° de módulos                 | 6528                             | Pnom total | 1501 kWp       |                                    |                 |                    |  |  |                       |             |     |        |    |            |        |         |      |        |              |               |      |            |          |          |        |                   |      |             |                     |                |      |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Inversor  | Modelo                        | Fronius Eco25.0-3                | Pnom       | 25.00 kW ac    |                                    |                 |                    |  |  |                       |             |     |        |    |            |        |         |      |        |              |               |      |            |          |          |        |                   |      |             |                     |                |      |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Banco de inversores   | N° de unidades                | 55.0                             | Pnom total | 1375 kW ac     |                                    |                 |                    |  |  |                       |             |     |        |    |            |        |         |      |        |              |               |      |            |          |          |        |                   |      |             |                     |                |      |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Necesidades de los usuarios   | Carga ilimitada (red)         |                                  |            |                |                                    |                 |                    |  |  |                       |             |     |        |    |            |        |         |      |        |              |               |      |            |          |          |        |                   |      |             |                     |                |      |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Inversión   |                               |                                  |            |                |                                    |                 |                    |  |  |                       |             |     |        |    |            |        |         |      |        |              |               |      |            |          |          |        |                   |      |             |                     |                |      |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Módulos FV (Pnom = 230 Wp)  | 6528 unidades                 | 0 € / unidad                     |            | 0 €            |                                    |                 |                    |  |  |                       |             |     |        |    |            |        |         |      |        |              |               |      |            |          |          |        |                   |      |             |                     |                |      |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Soportes/Integración  |                               | 0 € / módulo                     |            | 0 €            |                                    |                 |                    |  |  |                       |             |     |        |    |            |        |         |      |        |              |               |      |            |          |          |        |                   |      |             |                     |                |      |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Inversores (Pnom = 25.0 kW ac)  | 55 unidades                   | 2400 € / unidad                  |            | 132000 €       |                                    |                 |                    |  |  |                       |             |     |        |    |            |        |         |      |        |              |               |      |            |          |          |        |                   |      |             |                     |                |      |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Ajustes, cableado, ...  |                               |                                  |            | 0 €            |                                    |                 |                    |  |  |                       |             |     |        |    |            |        |         |      |        |              |               |      |            |          |          |        |                   |      |             |                     |                |      |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Sustitución subestimada   |                               |                                  |            | -0 €           |                                    |                 |                    |  |  |                       |             |     |        |    |            |        |         |      |        |              |               |      |            |          |          |        |                   |      |             |                     |                |      |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Inversión bruta (sin impuestos)   |                               |                                  |            | 132000 €       |                                    |                 |                    |  |  |                       |             |     |        |    |            |        |         |      |        |              |               |      |            |          |          |        |                   |      |             |                     |                |      |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Financiamiento  |                               |                                  |            |                |                                    |                 |                    |  |  |                       |             |     |        |    |            |        |         |      |        |              |               |      |            |          |          |        |                   |      |             |                     |                |      |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Inversión bruta (sin impuestos)   |                               |                                  |            | 132000 €       |                                    |                 |                    |  |  |                       |             |     |        |    |            |        |         |      |        |              |               |      |            |          |          |        |                   |      |             |                     |                |      |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Impuestos sobre la inversión (IVA)  | Tasa 0.0 %                    |                                  |            | 0 €            |                                    |                 |                    |  |  |                       |             |     |        |    |            |        |         |      |        |              |               |      |            |          |          |        |                   |      |             |                     |                |      |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Inversión bruta (con IVA)   |                               |                                  |            | 132000 €       |                                    |                 |                    |  |  |                       |             |     |        |    |            |        |         |      |        |              |               |      |            |          |          |        |                   |      |             |                     |                |      |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Subsidios   |                               |                                  |            | -0 €           |                                    |                 |                    |  |  |                       |             |     |        |    |            |        |         |      |        |              |               |      |            |          |          |        |                   |      |             |                     |                |      |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Inversión neta (todos impuestos incluidos)  |                               |                                  |            | 132000 €       |                                    |                 |                    |  |  |                       |             |     |        |    |            |        |         |      |        |              |               |      |            |          |          |        |                   |      |             |                     |                |      |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Anualidades   | (Préstamo 0.0 % sobre 0 años) |                                  |            | 132000 €/año   |                                    |                 |                    |  |  |                       |             |     |        |    |            |        |         |      |        |              |               |      |            |          |          |        |                   |      |             |                     |                |      |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Costos de explotación anuales: mantenimiento, seguros ...   |                               |                                  |            | 0 €/año        |                                    |                 |                    |  |  |                       |             |     |        |    |            |        |         |      |        |              |               |      |            |          |          |        |                   |      |             |                     |                |      |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Costo total anual   |                               |                                  |            | 132000 €/año   |                                    |                 |                    |  |  |                       |             |     |        |    |            |        |         |      |        |              |               |      |            |          |          |        |                   |      |             |                     |                |      |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Costo de energía  |                               |                                  |            |                |                                    |                 |                    |  |  |                       |             |     |        |    |            |        |         |      |        |              |               |      |            |          |          |        |                   |      |             |                     |                |      |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Energía producida   |                               |                                  |            | 2428 MWh / año |                                    |                 |                    |  |  |                       |             |     |        |    |            |        |         |      |        |              |               |      |            |          |          |        |                   |      |             |                     |                |      |            |            |                             |                       |  |  |  |
| Costo de la energía producida   |                               |                                  |            | 0.05 € / kWh   |                                    |                 |                    |  |  |                       |             |     |        |    |            |        |         |      |        |              |               |      |            |          |          |        |                   |      |             |                     |                |      |            |            |                             |                       |  |  |  |

Traducción sin garantía. Sólo el texto inglés está garantizado.

## ANEXO 5:



**SHIFTING THE LIMITS**

# FRONIUS AGILO TL

/ The compact central inverter for straightforward installation, easy maintenance and maximum yields.



/ PC board replacement process



/ Transport technology



/ Smart Grid Ready



/ The Fronius Agilo TL in the 360 kVA and 460 kVA power categories is a powerful central inverter for large-scale systems. Impressively low installation and operating costs are delivered through the compact dimensions and clever system design inherent to this inverter series. Furthermore, the Fronius Agilo TL is the only inverter series in its power category that can be fully installed and maintained by the installer. Efficient, robust and a long service life - all in one device.

### TECHNICAL DATA FRONIUS AGILO TL INDOOR / OUTDOOR

| INPUT DATA  | AGILO TL 360.0-3                    | AGILO TL 460.0-3 |
|---|-------------------------------------|------------------|
| Max. input current ( $I_{dc \max}$ )                            | 730 A                               | 782 A            |
| Min. input voltage ( $U_{dc \min}$ )                            | 505 V                               | 600 V            |
| Max. array short circuit current                                | 1,095 A                             | 1,173 A          |
| Feed-in start voltage ( $U_{dc \min}$ )                         | 530 V                               | 625 V            |
| Normal input voltage ( $U_{dc \text{ref}}$ )                    | 565 V                               | 600 V            |
| Max. input voltage ( $U_{dc \max}$ )                            | 1,000 V                             |                  |
| MPP voltage range ( $U_{\text{mpp min}} - U_{\text{mpp max}}$ ) | 505 - 820 V                         | 600 - 820 V      |
| Number MPP-tracker  | 1                                   |                  |
| Number of DC connections  | 6 (maximum 200 A per DC connection) |                  |

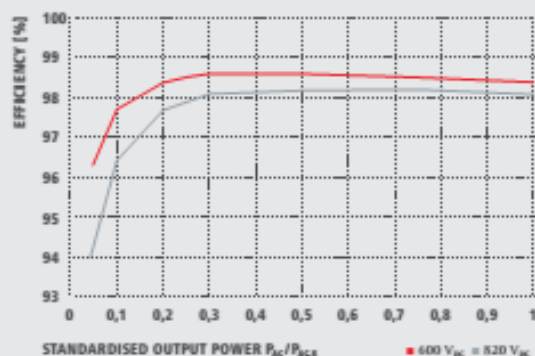
| OUTPUT DATA   | AGILO TL 360.0-3                 | AGILO TL 460.0-3          |
|---|----------------------------------|---------------------------|
| AC nominal output ( $P_{\text{ac}}$ )               | 360 kVA                          | 460 kVA                   |
| Max. output power (up to 35 °C ambient temperature) | 360 kVA                          | 460 kVA                   |
| AC output current ( $I_{\text{ac max}}$ )           | 629.5 A                          | 664.0 A                   |
| Grid connection (Output voltage)                    | 3 - 230 V (+30 % / -15 %)        | 3 - 400 V (+15 % / -25 %) |
| Frequency (Frequency range)                         | 50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)       |                           |
| Total harmonic distortion (50 Hz / 60 Hz)           | < 1.5 % / < 3.0 %                |                           |
| Power factor ( $\cos \phi_{\text{ac}}$ )            | 0.8 - 1 ind. / cap. <sup>4</sup> |                           |

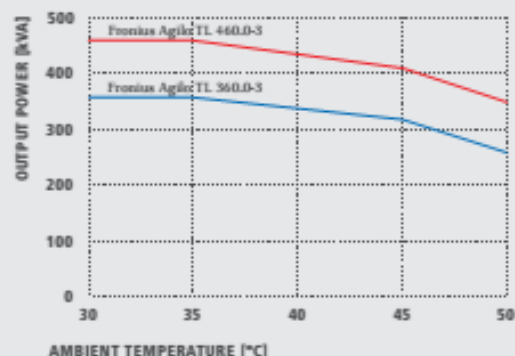
| GENERAL DATA  | AGILO TL 360.0-3  | AGILO TL 460.0-3 |
|---|---|------------------|
| Dimensions (height x width x depth)                             | 1,970 x 1,150 x 775 mm (2,230 x 1,150 x 1,055 mm) <sup>4</sup>  |                  |
| Weight  | 615 kg (660 kg) <sup>4</sup>  |                  |
| Degree of protection Agilo TL Indoor (electronics compartment)  | IP 40 (IP 53)   |                  |
| Degree of protection Agilo TL Outdoor (electronics compartment) | IP 44 (IP 53)   |                  |
| Protection class  | 1   |                  |
| Overvoltage category (DC / AC) <sup>4</sup>                     | 2 / 3   |                  |
| Overvoltage protection (DC / AC)                                | Type 1 and Type 2 integrated  |                  |
| Inverter design   | External transformer, AC parallel connection not possible   |                  |
| Cooling   | Regulated air cooling   |                  |
| Installation  | Indoor and outdoor installation   |                  |
| Ambient temperature range                                       | -20 °C - +50 °C   |                  |
| Permitted humidity  | 95 %  |                  |
| Max. altitude   | 3,000 m (unrestricted voltage range)  |                  |
| DC connection technology  | Direct terminal lug (V-type terminal) or cable lugs (M12) (6x 70 - 240 mm <sup>2</sup> ) <sup>4</sup> |                  |
| AC connection technology  | 2x max. 240 mm <sup>2</sup> cable lugs (M12) per phase <sup>4</sup>                                   |                  |
| EMC   | A   |                  |
| Certificates and compliance with standards                      | Depends on local regulations  |                  |

<sup>4</sup> Depending on country setup    <sup>2</sup> This applies to Fronius Agilo TL Outdoor    <sup>3</sup> Testing to IEC 61203-1    <sup>4</sup> Copper and aluminium are connectable    <sup>5</sup> Dielectric strength 1.8 / 3 kV.  
More information about inverter availability in your country can be found at [www.fronius.com](http://www.fronius.com).

### EFFICIENCY CURVE FRONIUS AGILO TL



### DERATING FRONIUS AGILO TL



### TECHNICAL DATA FRONIUS AGILO TL INDOOR / OUTDOOR

| EFFICIENCY                                   | AGILO TL 360.0-3   | AGILO TL 460.0-3 |
|--|--|------------------|
| Max. efficiency                              | 98.5 %   | 98.6 %           |
| Europ. efficiency (η <sub>EU</sub> )         | 98.3 %   | 98.4 %           |
| η at 5 % P <sub>ac,K</sub> <sup>1)</sup>     | 96.5 / 92.0 %  | 96.3 / 94.0 %    |
| η at 10 % P <sub>ac,K</sub> <sup>1)</sup>    | 97.5 / 95.7 %  | 97.7 / 96.4 %    |
| η at 20 % P <sub>ac,K</sub> <sup>1)</sup>    | 98.3 / 97.2 %  | 98.4 / 97.7 %    |
| η at 25 % P <sub>ac,K</sub> <sup>1)</sup>    | 98.4 / 97.4 %  | 98.5 / 97.9 %    |
| η at 30 % P <sub>ac,K</sub> <sup>1)</sup>    | 98.4 / 97.6 %  | 98.6 / 98.1 %    |
| η at 50 % P <sub>ac,K</sub> <sup>1)</sup>    | 98.5 / 97.9 %  | 98.6 / 98.2 %    |
| η at 75 % P <sub>ac,K</sub> <sup>1)</sup>    | 98.4 / 97.9 %  | 98.5 / 98.2 %    |
| η at 100 % P <sub>ac,K</sub> <sup>1)</sup>   | 98.2 / 97.7 %  | 98.4 / 98.1 %    |
| MPP adaptation efficiency                    | > 99.9 %   |                  |
| PROTECTION DEVICES                           | AGILO TL 360.0-3   | AGILO TL 460.0-3 |
| DC insulation measurement                    | Yes, warning or shutdown <sup>2)</sup> at R <sub>ISO</sub> < 40 kΩ |                  |
| Overload behaviour                           | Operating point shift, power limitation                            |                  |
| DC disconnect                                | Included   |                  |
| AC switch-disconnector                       | Included   |                  |
| INTERFACES                                   | AGILO TL 360.0-3   | AGILO TL 460.0-3 |
| 2x RS422 (RJ45 socket)                       | Fronius Solar Net, interface protocol                              |                  |
| Optionally with Fronius Datamanager Box 2.0: |  |                  |
| WLAN / Ethernet LAN                          | Fronius Solatweb, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)     |                  |
| 6 inputs and 4 digital inputs/outputs        | Interface to ripple control receiver                               |                  |
| Datalogger and web server                    | Included   |                  |
| RS-485                                       | Modbus RTU SunSpec or meter connection                             |                  |

<sup>1)</sup> And at U<sub>mpp</sub> min ≤ U<sub>dc,r</sub> / U<sub>mpp</sub> max

<sup>2)</sup> Depends on country setup

Note: Connection to grounded modules is not possible with the Fronius Agilo TL.

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

### WE HAVE THREE DIVISIONS AND ONE PASSION: SHIFTING THE LIMITS OF POSSIBILITY.

/ Whether welding technology, photovoltaics or battery charging technology – our goal is clearly defined: to be the innovation leader. With around 3,000 employees worldwide, we shift the limits of what's possible – our record of over 1,000 granted patents is testimony to this. While others progress step by step, we innovate in leaps and bounds. Just as we've always done. The responsible use of our resources forms the basis of our corporate policy.

Further information about all Fronius products and our global sales partners and representatives can be found at [www.fronius.com](http://www.fronius.com)

v04 Nov 2014 EN

Fronius India Private Limited  
GAT no 312, Nanekarwadi  
Chakan, Taluka - Khed District  
Pune 410501  
India  
[pv-sales-india@fronius.com](mailto:pv-sales-india@fronius.com)  
[www.fronius.in](http://www.fronius.in)

Fronius Australia Pty Ltd.  
90-92 Lambeck Drive  
Tullamarine VIC 3043  
Australia  
[pv-sales-australia@fronius.com](mailto:pv-sales-australia@fronius.com)  
[www.fronius.com.au](http://www.fronius.com.au)

Fronius UK Limited  
Maidstone Road, Kingston  
Milton Keynes, MK10 0BD  
United Kingdom  
[pv-sales-uk@fronius.com](mailto:pv-sales-uk@fronius.com)  
[www.fronius.co.uk](http://www.fronius.co.uk)

Fronius International GmbH  
Froniusplatz 1  
4600 Wels  
Austria  
[pv-sales@fronius.com](mailto:pv-sales@fronius.com)  
[www.fronius.com](http://www.fronius.com)



## ANEXO 6:

/ Perfect Welding / **Solar Energy** / Perfect Charging



**FRONIUS ECO**

/ The compact project inverter for maximum yields.



/ SnapInverter  
Technology



/ Integrated data  
communication



/ Smart Grid  
Ready



/ Dynamic Peak  
Manager



/ The three-phase Fronius Eco in power categories 25.0 and 27.0 kW perfectly meets all the requirements of large-scale installations. Thanks to its light weight and SnapInverter mounting system, this transformerless device can be installed quickly and easily either indoors or outdoors. This inverter range is setting new standards with its IP 66 protection class. Furthermore, thanks to its integrated double fuse holders and optional overvoltage protection, string collection boxes are no longer necessary.

### TECHNICAL DATA FRONIUS ECO

| INPUT DATA  | FRONIUS ECO 25.0-3-S | FRONIUS ECO 27.0-3-S    |
|---|----------------------|-------------------------|
| Max. input current ( $I_{in max}$ )               | 44.2 A               | 47.7 A                  |
| Max. array short circuit current                  |                      | 71.6 A                  |
| Min. input voltage ( $U_{in min}$ )               |                      | 580 V                   |
| Feed-in start voltage ( $U_{in start}$ )          |                      | 650 V                   |
| Nominal input voltage ( $U_{in N}$ )              |                      | 580 V                   |
| Max. input voltage ( $U_{in max}$ )               |                      | 1,000 V                 |
| MPP voltage range ( $U_{app min} - U_{app max}$ ) |                      | 580 - 830 V             |
| Number of MPP trackers                            |                      | 1                       |
| Number of DC connections                          |                      | 6                       |
| Max. PV generator output ( $P_{in max}$ )         |                      | 35.7 kW <sub>peak</sub> |

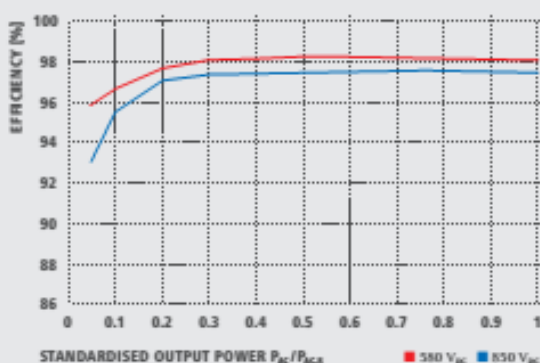
| OUTPUT DATA                        | FRONIUS ECO 25.0-3-S  | FRONIUS ECO 27.0-3-S |
|------------------------------------|---|----------------------|
| AC nominal output ( $P_{app}$ )    | 25,000 W  | 27,000 W             |
| Max. output power                  | 25,000 VA   | 27,000 VA            |
| AC output current ( $I_{a max}$ )  | 36.1 A  | 55.0 A               |
| Grid connection (voltage range)    | 3-NPE 380 V / 220 V or<br>3-NPE 400 V / 230 V (+20 % / -30 %) |                      |
| Frequency (frequency range)        | 50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)                                    |                      |
| Total harmonic distortion          | < 2.0 %   |                      |
| Power factor ( $\cos \phi_{app}$ ) | 0 - 1 ind. / cap.   |                      |

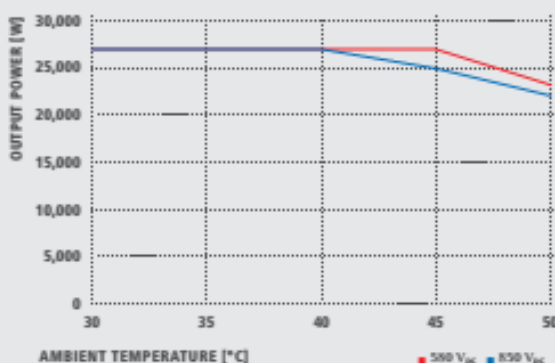
| GENERAL DATA                               | FRONIUS ECO 25.0-3-S  | FRONIUS ECO 27.0-3-S |
|--|---|----------------------|
| Dimensions (height x width x depth)        | 725 x 510 x 225 mm  |                      |
| Weight                                     | 35.7 kg   |                      |
| Degree of protection                       | IP 66   |                      |
| Protection class                           | 1   |                      |
| Overvoltage category (DC / AC) *           | 2 / 3   |                      |
| Night-time consumption                     | < 1 W   |                      |
| Inverter concept                           | Transformerless   |                      |
| Cooling                                    | Regulated air cooling   |                      |
| Installation                               | Indoor and outdoor installation   |                      |
| Ambient temperature range                  | -25 - +60 °C  |                      |
| Permitted humidity                         | 0 to 100 %  |                      |
| Max. altitude                              | 2,000 m   |                      |
| DC connection technology                   | 6x DC+ and 6x DC- screw terminals 2.5 - 16 mm <sup>2</sup>  |                      |
| AC connection technology                   | 5-pole AC screw terminals 2.5 - 16 mm <sup>2</sup>  |                      |
| Certificates and compliance with standards | OVE / ONORM E 8001-4-712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100, AS 4777-2, AS 4777-3, CEI 08-190, G39/3, UNE 206007-3, SI 4777, CEI 0-16, CEI 0-21 |                      |

\*According to IEC 62109-1, DIN rail for optional overvoltage protection (type 2) is included.  
Further information regarding the availability of the inverters in your country can be found at [www.fronius.com](http://www.fronius.com).

### FRONIUS ECO 27.0.3-S EFFICIENCY CURVE



### FRONIUS ECO 27.0.3-S TEMPERATURE DERATING



### TECHNICAL DATA FRONIUS ECO

| EFFICIENCY                                   | FRONIUS ECO 25.0-3-S  | FRONIUS ECO 27.0-3-S |
|--|---|----------------------|
| Max. efficiency                              | 98.2 %  | 98.3 %               |
| European efficiency (η <sub>EU</sub> )       | 98.0 %  | 98.0 %               |
| η at 5 % P <sub>ac,n</sub> <sup>1)</sup>     | 95.1 / 91.5 %   | 95.9 / 93.1 %        |
| η at 10 % P <sub>ac,n</sub> <sup>1)</sup>    | 97.0 / 95.2 %   | 96.8 / 95.7 %        |
| η at 20 % P <sub>ac,n</sub> <sup>1)</sup>    | 97.8 / 96.9 %   | 97.7 / 97.1 %        |
| η at 25 % P <sub>ac,n</sub> <sup>1)</sup>    | 98.0 / 97.0 %   | 98.1 / 97.3 %        |
| η at 30 % P <sub>ac,n</sub> <sup>1)</sup>    | 98.1 / 97.2 %   | 98.1 / 97.4 %        |
| η at 50 % P <sub>ac,n</sub> <sup>1)</sup>    | 98.2 / 97.5 %   | 98.3 / 97.5 %        |
| η at 75 % P <sub>ac,n</sub> <sup>1)</sup>    | 98.2 / 97.5 %   | 98.2 / 97.6 %        |
| η at 100 % P <sub>ac,n</sub> <sup>1)</sup>   | 98.2 / 97.5 %   | 98.1 / 97.5 %        |
| MPP adaptation efficiency                    | > 99.9 %  |                      |
| PROTECTION DEVICES                           | FRONIUS ECO 25.0-3-S  | FRONIUS ECO 27.0-3-S |
| DC insulation measurement                    | Yes   |                      |
| Overload behavior                            | Operating point shift, power limitation                         |                      |
| DC disconnect                                | Yes   |                      |
| Integrated string fuse holders <sup>2)</sup> | Yes   |                      |
| Reverse polarity protection                  | Yes   |                      |
| INTERFACES                                   | FRONIUS ECO 25.0-3-S  | FRONIUS ECO 27.0-3-S |
| WLAN / Ethernet LAN                          | Fronius Solarweb, Modbus TCP, SunSpec, Fronius Solar API (JSON) |                      |
| 6 inputs and 4 digital inputs/outputs        | Interface to ripple control receiver                            |                      |
| USB (A socket) <sup>3)</sup>                 | Datalogging, inverter update via USB flash drive                |                      |
| 2x RS422 (B, J45 socket) <sup>4)</sup>       | Fronius Solar Net   |                      |
| Signalling output <sup>5)</sup>              | Energy management (floating relay output)                       |                      |
| Datalogger and Webserver                     | Included  |                      |
| External input <sup>6)</sup>                 | 50 meter connection / Evaluation of overvoltage protection      |                      |
| RS485  | Modbus RTU SunSpec or meter connection                          |                      |

<sup>1)</sup> And at U<sub>app,nom</sub> = U<sub>dc,n</sub> / U<sub>app,nom</sub>. <sup>2)</sup> Optionally fitted with 6 fuses 15 A / 1,000 V on the plus side. <sup>3)</sup> Also available in the light version.

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

### WE HAVE THREE DIVISIONS AND ONE PASSION: SHIFTING THE LIMITS OF POSSIBILITY.

/ Whether welding technology, photovoltaics or battery charging technology – our goal is clearly defined: to be the innovation leader. With around 3,300 employees worldwide, we shift the limits of what's possible – our record of over 900 granted patents is testimony to this. While others progress step by step, we innovate in leaps and bounds. Just as we've always done. The responsible use of our resources forms the basis of our corporate policy.

Further information about all Fronius products and our global sales partners and representatives can be found at [www.fronius.com](http://www.fronius.com)

v05 May 2015 EN

Fronius India Private Limited  
GAT no 312, Nanekarwadi  
Chakan, Taluka - Khed District  
Pune 410501  
India  
[pv-sales-india@fronius.com](mailto:pv-sales-india@fronius.com)  
[www.fronius.in](http://www.fronius.in)

Fronius Australia Pty Ltd.  
90-92 Lambeck Drive  
Tullamarine VIC 3043  
Australia  
[pv-sales-australia@fronius.com](mailto:pv-sales-australia@fronius.com)  
[www.fronius.com.au](http://www.fronius.com.au)

Fronius UK Limited  
Maidstone Road, Kingston  
Milton Keynes, MK10 0BD  
United Kingdom  
[pv-sales-uk@fronius.com](mailto:pv-sales-uk@fronius.com)  
[www.fronius.co.uk](http://www.fronius.co.uk)

Fronius International GmbH  
Froniusplatz 1  
4600 Wels  
Austria  
[pv-sales@fronius.com](mailto:pv-sales@fronius.com)  
[www.fronius.com](http://www.fronius.com)



## ANEXO 7:



SHIFTING THE LIMITS

# FRONIUS STRING CONTROL 250/30 FRONIUS STRING CONTROL 250/30 DCD DF

/ Professional monitoring of up to 30 module strings



/ The Fronius String Control 250/30 and Fronius String Control 250/30 DCD DF have been specially modified to meet the requirements of central inverters. With a current carrying capacity of 250 A and maximum voltage of 1000 V, the Fronius String Control is the ideal device for monitoring and connecting up to 30 strings when using Fronius Agilo inverters.

### FRONIUS STRING CONTROL 250/30 AND FRONIUS STRING CONTROL 250/30 DCD DF

| TECHNICAL DATA                     | FRONIUS STRING CONTROL 250/30  | FRONIUS STRING CONTROL 250/30 DCD DF | BASE               |
|------------------------------------|--|--------------------------------------|--------------------|
| Max. number of strings             | 30   |                                      |                    |
| Max. input current                 | 250 A  |                                      |                    |
| Max. input current per string      | 20 A   |                                      |                    |
| Max. input voltage                 | 1000 V   |                                      |                    |
| Connections (DC in)                | Terminals, 2,5 mm <sup>2</sup> – 25 mm <sup>2</sup> (for max. cable diameter of 7.5 mm) <sup>a</sup> |                                      |                    |
| Connections (DC out)               | V-shape connection lug (V-bus terminal clamp) (no cable lugs required), max. 240 mm <sup>2</sup>     |                                      |                    |
| Max. current per measuring channel | 50 A   |                                      |                    |
| Number of measuring channels       | 5  |                                      |                    |
| Fronius Solar Net (RS422)          | Two RJ 45 or terminals   |                                      |                    |
| Ambient temperature range          | -25 – +55 °C   |                                      |                    |
| Degree of protection               | IP 55  |                                      |                    |
| Power supply                       | 12 V DC (optional)   |                                      |                    |
| Size (height x width x depth)      | 580 x 720 x 200 mm   | 741 x 730 x 246                      | 800 x 760 x 240 mm |
| Weight                             | 16,3 kg  | 25,2 kg                              | 31 kg              |

<sup>a</sup> Depending on cable type. Please refer to the information in the operating instructions regarding correct installation.

### CONFIGURATION DIAGRAM



..... Communication path  
—— Power path

#### THE BENEFITS OF THE FRONIUS STRING CONTROL 250/30 IN DETAIL

##### / Professional string current monitoring

The current of up to 30 strings can be monitored and professionally compared using the Fronius String Control 250/30.

##### / Connection of up to 30 strings

Up to 30 strings in the Fronius String Control 250/30 can be connected to one DC main line. With a maximum input voltage of 1000 V and current carrying capacity of 250 A, the Fronius String Control 250/30 is well suited for use with the Fronius Agilo central inverter.

##### / Easy installation without special tools

As the V-shape connection lugs (V-box terminal clamps) are connected directly to the DC main line, installation can be carried out quickly and easily without any special tools, saving both time and money. No cable plugs are required.

##### / Module array fuse protection

Integrated string fuses protect the module array. The solar modules are provided with the best level of protection.

##### / Installation of overvoltage protection protection component, designed for standard rail mounting

The String Control 250/30 allows an external overvoltage protection component, designed for standard rail mounting, to be installed.

##### / Optional: DIN rail power pack

The Fronius String Control 250/30 has a separate DC power supply, making it ideal for distances of more than 100 m between the solar modules and the Fronius monitoring system.



##### / Optional: Base for outdoor installation

The Fronius String Control 250/30 is supplied with an optional base for safe and secure installation on all types of outdoor surface.



#### OTHER SAFETY FEATURES ON THE FRONIUS STRING CONTROL 250/30 DCD DF

/ The Fronius String Control 250/30 DCD DF also provides other benefits:

##### / The all-pole fuse protection

The all-pole fuse protection of the strings on the DC side complies with UK, French and Australian standards.

/ Integrated DC disconnecter that can be operated from the outside

The integrated DC disconnecter allows the PV generator to be conveniently isolated from the inverter, enabling service and maintenance work to be performed safely on a de-energised system.

/ Battery Charging Systems / Welding Technology / Solar Electronics

#### WE HAVE THREE DIVISIONS AND ONE PASSION: SHIFTING THE LIMITS.

/ Whether Battery Charging Systems, Welding Technology or Solar Electronics - our goal is clearly defined: to be the technology and quality leader. With around 3,000 employees worldwide, we shift the limits of what's possible - our more than 850 active patents are testimony to this. While others progress step by step, we innovate in leaps and bounds. Further information about all Fronius products and our global sales partners and representatives can be found at [www.fronius.com](http://www.fronius.com)



Fronius Australia Pty Ltd.  
90-92 Lambeck Drive  
Tullamarine VIC 3043  
Australia  
[pv-sales-australia@fronius.com](mailto:pv-sales-australia@fronius.com)  
[www.fronius.com.au](http://www.fronius.com.au)

Fronius UK Limited  
Maidstone Road, Kingston  
Milton Keynes, MK10 0BD  
United Kingdom  
[pv-sales-uk@fronius.com](mailto:pv-sales-uk@fronius.com)  
[www.fronius.co.uk](http://www.fronius.co.uk)

Fronius International GmbH  
Froniusplatz 1  
4600 Wels  
Austria  
[pv@fronius.com](mailto:pv@fronius.com)  
[www.fronius.com](http://www.fronius.com)